Ю. В. Алексеев, А. П. Богословский, Е. М. Певзнер,
А. А. Рабинович, А. Г. Яуре.

КРАНОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Справочник

Под редакцией канд. техн. наук А. А. РАБИНОВИЧА

МОСКВА «ЭНЕРГИЯ» 1979

ББК 31.291
К 78
УДК 621.873:621.313.13(03)

Крановое электрооборудование: Справочник/
К 78 Алексеев Ю. В., Богословский А. П., Певзнер Е. М. и др.; Под ред. А. А. Рабиновича. — М.: Энергия, 1979. — 240 с., ил.

В пер.: 2 р.

В справочнике содержится информация по всем видам кранового электрооборудования, находящегося в производстве, определяются перспективы развития основных типов машин и аппаратов, приводятся методы выбора и использования электрооборудования для разнообразных условий эксплуатации, технические характеристики типовых комплектов электроприводов и рекомендации по применению этих комплектов для различных видов крановых механизмов. Значительное внимание уделяется новым методам расчета электромеханических характеристик.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников, связанных с конструированием и использованием крановых машин в промышленности, строительстве и на транспорте. Он может быть также полезен студентам вузов соответствующих специальностей.

$К\frac{30307\text{-}308}{051(01)\text{-}79}$ 98-79. 2302030000 ББК 31.291 6П2.1.081

ПРЕДИСЛОВИЕ

Крановое оборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Расширение отрасли машиностроения, занимающейся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства для решения поставленной XXV съездом КПСС задачи всемерного сокращения и ликвидации тяжелого ручного труда. В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов во многих отраслях народного хозяйства и эти машины используются практически во всех сферах народного хозяйства: при добыче полезных ископаемых, в металлургии, машиностроении, строительстве, на транспорте и др.

Подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготовляемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод основных рабочих механизмов и поэтому эффективность действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового электрооборудования. Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременным режимом работы при большой частоте включений, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своем составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоаппаратов, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих различные крановые электроприводы.

В крановом электроприводе начали довольно широко применяться различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радиоканалу или одному проводу.

Для обеспечения механизированной транспортировки ферромагнитных материалов промышленностью изготавливается две серии грузоподъемных электромагнитов.

Производство кранового электрооборудования стало одной из важнейших отраслей электротехнической промышленности. При этом использованием и эксплуатацией кранового электрооборудования занимаются десятки проектно-конструкторских организаций и сотни предприятий различных отраслей народного хозяйства, следовательно, особую значимость приобретает выпуск систематизированной информационно-технической литературы, охватывающей все стороны использования и эксплуатации электрооборудования грузоподъемных машин.

Крановому электрооборудованию за последнее десятилетие было посвящено несколько учебных пособий, а также ряд монографий с упором на отдельные специальные вопросы. При всех достоинствах этих книг они в основном предназначались либо для обучения, либо для специалистов-конструкторов. Между тем для проведения практических инженерных расчетов в настоящее время созданы и внедрены в практику новые прогрессивные и доступные для широкого круга работников методы проектирования большинства крановых электроприводов, отражающие современные направления оптимизации систем и их технико-экономического обоснования.

Предлагаемый читателям справочник по крановому электрооборудованию обобщает многолетний опыт, накопленный специалистами промышленности в области создания, использования и эксплуатации электроприводов грузоподъемных механизмов.

В книге приведены ряд новых методов расчета отдельных элементов электроприводов, а также обобщенная методика выбора приводных электродвигателей с учетом особенностей принятых систем управления. Большая часть материалов справочника публикуется впервые и обобщает многолетний опыт авторов по созданию крановых электроприводов, а также опыт института ВНИИПТмаш и краностроительных заводов по использованию электрооборудования в современном краностроении.

Авторы полагают, что использование рекомендаций, приведенных в справочнике, позволит читателям приблизиться к оптимальным решениям при проектировании кранового электропривода и избежать ошибок, которые, к сожалению, еще имеют место при проектировании без надлежащего учета особенностей использования кранового оборудования.

Работа между авторами была распределена следующим образом: Ю. В. Алексеевым написаны разд. 2 и § 6-2, А. П. Богословским — разд. 3 и 4 (кроме § 4-6), § 7-1—7-3, 10-1, 10-2, Е. М. Певзнером — разд. 8, § 4-6, 7-4—7-8, 9-1—9-3; 10-3, А. Г. Яуре — разд. 1 и 5, § 6-1 и 7-9. Общее редактирование книги осуществлено канд. техн. наук А. А. Рабиновичем.

Авторы выражают благодарность канд. тех. наук Л. Б. Масандилову за ценные советы и большую работу по редактированию рукописи.

Все замечания и пожелания по содержанию книги следует направлять в адрес издательства «Энергия»: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Авторы

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

УСЛОВИЯ РАБОТЫ И ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

1-1. ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ

а) Назначение, классификация и основные определения

Перемещение грузов, связанное с грузоподъемными операциями, во всех отраслях народного хозяйства, на транспорте и в строительстве осуществляется разнообразными грузоподъемными машинами.

Грузоподъемные машины служат для погрузочно-разгрузочных работ, перемещения грузов в технологической цепи производства или строительства и выполнения ремонтно-монтажных работ с крупногабаритными агрегатами. Грузоподъемные машины с электрическими приводами имеют чрезвычайно широкий диапазон использования, что характеризуется интервалом мощностей приводов от сотен ватт до 1000 кВт. В перспективе мощности крановых механизмов могут дойти до 1500—2500 кВт.

По назначению разнообразные грузоподъемные машины можно объединить в три группы:

1) универсальные грузоподъемные машины — краны, лебедки, тали, служащие для подъема и перемещения различных грузов при помощи крюкового подвеса на грузовом тросе;

2) грузоподъемные машины для выполнения определенных технологических операций в промышленности, на транспорте и в строительстве;

3) краны для выполнения строительных, монтажных и ремонтных работ, связанных с перемещением машинного оборудования.

В свою очередь, по условиям работы грузоподъемные машины могут быть условно разделены на следующие группы:

1) машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы до 16 ч в сутки;

2) машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы от 8 до 24 ч в сутки;

3) машины для выполнения определенных технологических операций, используемые как в помещениях, так и на открытом воздухе при повторно-кратковременном режиме и продолжительностью работы до 24 ч в сутки;

4) машины для выполнения разовых и эпизодических грузоподъемных операций, используемые в кратковременных и в повторно-кратковременных режимах с общим годовым числом часов работы не более 500.

Универсальные грузоподъемные машины изготавливаются с учетом различных условий использования по нагрузке и времени работы, интенсивности проведения операций, степени ответственности операций и в связи с этим могут быть дополнительно отнесены к нескольким усредненным категориям использования.

Механизмы для выполнения определенных технологических операций, а также механизмы для эпизодической работы имеют вполне определенные условия использования соответственно их назначению. С целью систематизации всего многообразия режимов работы грузоподъемных машин Госгортехнадзор установил следующие категории режимов работы механизмов с машинным приводом: легкий — Л; средний — С; тяжелый — Т; весьма тяжелый — ВТ. Определение этих режимов работы производится согласно табл. 1-1.

Таблица 1-1

Режимы работы механизмов грузоподъемных машин

Режимы работы механизма	Среднее допускаемое использование механизма			Продолжительность включения ПВ, %	Среднее число включений в час	Температура окружающей среды, °С
	по грузоподъемности $K_{гр}$	по времени				
		в течение года $K_г$	в течение суток $K_с$			
Л	0,25—1,0	Нерегулярная редкая работа		15—25	До 60	25
С	0,75	0,5	0,33	25	60	25
				40	120	25
Т	0,75—1,0	1,0	0,66	40	120	40
				40	240	40
ВТ	1,0	1,0	1,0	60	300	45
				60	600	45

Ряд кранов, предназначенных для технологических комплексов, в последнее время проектируется для использования при более сложных режимах работы электропривода по сравнению с режимом ВТ, определяемым действующей классификацией Госгортехнадзора. Этот режим характеризуется продолжительностью включения до ПВ=100% при числе включений в час 600 и выше. Для этих случаев вводится новая категория режима: особо тяжелый — ОТ. В настоящее время подготавливается стандарт, предусматривающий пять категорий режимов, включая режим ОТ. С учетом этого в соответствующих разделах справочника приводятся рекомендации по использованию электрооборудования для пяти категорий режимов, включая режим ОТ.

Для основных параметров грузоподъемных машин принята следующая терминология:

грузоподъемность крана $Q_н$, *Т* — масса максимального поднимаемого груза вместе с массой грузозахватных приспособлений и устройств без массы крюковой подвески;

коэффициент использования крана по грузоподъемности

$$K_{гр} = Q_{ср}/Q_н,$$

где $Q_{ср}$ — среднее значение массы поднимаемого груза за смену;

коэффициент годового использования механизма

$$K_г = \frac{\text{число дней работы механизма в году}}{365};$$

коэффициент суточного использования механизма

$$K_с = \frac{\text{число часов работы механизма в сутки}}{24}.$$

Продолжительность включения при повторно-кратковременном режиме работы — отношение времени включения электродвигателя к общему времени цикла, %. При регулярно повторяющихся циклах (механизмы, используемые в технологических процессах) расчетная продолжительность включения определяется соотношением

$$ПВ_р = (1 - Nt_{пауз}/3600)\,100\%, \qquad (1\text{-}1)$$

где N — производительность крана при номинальной грузоподъемности, определяемая числом циклов в час; $t_{пауз}$ — время паузы в работе за один цикл, с.

При регулярно повторяющихся циклах *производительностью* называется наибольшее число циклов перегрузки номинального груза за 1 ч при известной расчетной траектории перемещения грузов и заданной паузе. Поскольку большинство крановых механизмов выполняет нерегулярные операции, то произведение $Nt_{пауз}$ заменяется усредненной суммой времени пауз $t_{пауз}$ за 1 ч работы при условии, что время непрерывного включения или паузы не превышает 300 с, т. е. при среднем числе включений в час свыше 6 (при времени цикла 10 мин).

Под *числом включений в час* понимается среднее число разгонов механизмов до номинальной скорости перемещения механизма и последующей остановки после каждого разгона. Фактически продолжительность включения может изменяться в пределах от 0 до 100%. Значения номинальных продолжительностей включения $ПВ_н$ для механизмов и электродвигателей стандартизированы и равны 15, 25, 40, 60, 100% при времени цикла не свыше 600 с.

В цикл работы грузоподъемной машины входят операции, полностью завершающие процесс перемещения по заданной траектории одного груза или завершающие одну технологическую операцию.

Номинальной скоростью механизма $v_н$, м/с, принято называть установившуюся скорость перемещения номинального груза (или механизма с грузом) при расчетных номинальных нагрузках.

Средним ускорением (или замедлением) механизма $a_н$, м/с^2, принято называть среднее ускорение за время разгона от неподвижного состояния до номинальной скорости (или торможения от номинальной скорости до полной остановки).

$$a_н = v_н/t_п, \qquad (1\text{-}2)$$

где $t_п$ — время пуска (или торможения), с.

Допустимые значения средних ускорений крановых механизмов приведены в табл. 1-2.

Диапазон регулирования грузоподъемного механизма есть отношение максимальной скорости механизма $v_{макс}$ к устойчивой наименьшей скорости перемещения $v_{мин}$ номинального груза при расчетных параметрах воздействий внешней среды. Например, диапазон регулирования 3 : 1 обозначает, что минимальная скорость в 3 раза меньше максимальной.

Таблица 1-2

Минимальные скорости переработки грузов и допустимые интервалы средних ускорений

Грузовые операции	Минимальная скорость спуска груза, м/с	Минимальная скорость подъема груза, м/с	Минимальная скорость горизонтального перемещения, м/с	Интервалы средних ускорений, м/с^2	
				механизмы подъема	механизмы горизонтального перемещения
В сборочных цехах машиностроительных предприятий	0,06	0,08	0,2	0,2—0,35	0,3—0,4
При сборке крупногабаритных узлов (судостроение, строительство) массой свыше 20 т	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1—0,2
При сборке и монтаже механизмов с высокой точностью	0,01	0,02	0,06	0,1	0,1—0,2
В гражданском строительстве при массе грузов до 12 т	0,08	0,15	0,15	0,4—0,6	0,5—0,6
В гражданском и промышленном строительстве при массе грузов свыше 12 т	0,05	0,1	0,1	0,3—0,4	0,3—0,4
С взрывоопасными грузами	0,03	0,04	0,1	0,1	0,1—0,2
С жидким металлом	0,03	0,04	0,1	0,1	0,15—0,2
С контейнерами массой до 10 т	0,12	0,12	0,3	0,5—0,6	0,4—0,5
С контейнерами массой свыше 10 т	0,07	0,07	0,2	0,5—0,6	0,4—0,6
Перегрузка штучных грузов массой до 10 т	0,20	0,25	0,3	0,6—0,8	0,5—0,7
Перегрузка штучных грузов массой свыше 10 т	0,12	0,15	0,2	0,4—0,5	0,4—0,6
Перегрузка насыпных грузов грейфером	—	—	0,2	1,0	0,6—0,8
Штабелерами на механизированных складах	0,07	0,07	0,12	0,4—0,5	0,4—0,6
Перегрузка металлопроката грузоподъемными магнитами	0,12	—	0,3	0,3—0,4	0,4—0,6

б) Основные технические характеристики грузоподъемных машин

Грузоподъемность кранов и других подъемных машин регламентирована ГОСТ 1575-75: 0,2—0, 25—0, 32—0, 4—0, 5—0, 63—0, 8—1—1, 25—1, 6—2—2, 5—3, 2—4—5—6, 3—8—10—12, 5—16—20—25—32—40—50—63—80 100—125—160—200—250—320—400—500—630—800—1000 т. Естественно, что машины с определенной номинальной грузоподъемностью в практике эксплуатации могут поднимать грузы, имеющие широкий диапазон масс, но в пределах данной номинальной грузоподъемности.

У специализированных кранов средние массы поднимаемых грузов близки к номинальной грузоподъемности. Для универсальных кранов средние массы перемещаемых грузов составляют около 50% номинальной грузоподъемности, причем только 10—15% всех подъемов осуществляются с грузами, массы которых близки к номинальным.

Скорости перемещения грузов определяют производительность и мощность механизмов и выбираются с учетом эффективности выполнения грузоподъемных операций, т. е. получения необходимого времени операции при наименьшей первоначальной стоимости механизмов крана. Выбор оптимальной скорости является важной задачей, необходимое решение которой может быть найдено только на основе учета факторов производительности, затрат энергии, возможности и эффективности

регулирования скорости, а также технико-экономической оценки системы регулирования.

За последние годы были проведены исследования, связанные с оптимизацией скоростных параметров быстроходных грузоподъемных машин. В результате этих исследований установлено, что при повышении скоростей до определенных пределов производительность машин растет вместе со скоростью, однако при дальнейшем повышении скоростей может произойти снижение производительности за счет увеличения времени разгона и торможения механизмов крана.

значения минимальных скоростей для точной установки грузов. В табл. 1-2 приведены данные минимальных скоростей перемещения грузов для различных видов механизмов. Пользуясь этими значениями, можно при заданной номинальной скорости установить требуемые диапазоны регулирования скорости либо для известного и достижимого диапазона регулирования выбрать номинальную скорость.

Выбор промежуточных фиксированных скоростей прежде всего зависит от способностей человека воспринять разницу скоростей соседних фиксированных положений и на основе восприятия этой разницы осуществлять последующие операции управления. Практикой установлены значения ступеней нарастания скоростей механизмов подъема (табл. 1-3). Регулирование скорости механизмов горизонтального перемещения в промежутке между максимальной и минимальной скоростями часто осуществляется путем изменения интенсивности разгона или торможения с учетом необходимых ускорений.

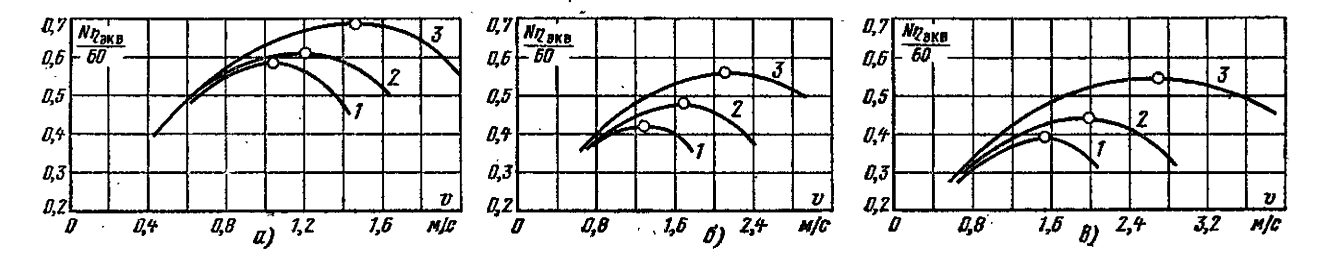


Рис. 1-1. Зависимости между линейной скоростью перемещения груза грузоподъемных машин и параметром $N\eta_{экв}/60$.

а — механизмы подъема и передвижения тележки при пути за цикл не более 40 м; *б* — механизмы изменения вылета стрелы и передвижения тележки при пути за цикл более 80 м; *в* — механизмы передвижения крана или поворота; *1* — асинхронные короткозамкнутые электродвигатели; *2* — асинхронные двигатели с фазным ротором и параметрическим регулированием; *3* — асинхронный электропривод с преобразователями частоты.

Определив эквивалентный к. п. д. механизма как отношение полезной работы по перемещению груза за один цикл к общим затратам энергии на выполнение всех операций цикла и обозначив его через $\eta_{экв}$, можно установить зависимость

$$v_н = f(N\eta_{экв}).$$

Эти зависимости для различных систем регулирования крановых механизмов приведены на рис. 1-1, *а—в*. Анализ скоростных параметров показывает, что для каждого вида механизмов (подъема, поворота и горизонтального перемещения) имеются пределы скоростей, превосходить которые нецелесообразно.

Скорости грузоподъемных механизмов выбираются исходя из следующих предпосылок:

1) номинальная скорость определяется условиями технологического процесса, т. е. временем выполнения цикла;

2) номинальная скорость ограничивается мощностью питающей сети или возможностью установки приводного двигателя определенных размеров;

3) номинальная скорость является функцией диапазона регулирования при заданной минимальной скорости механизма.

4) номинальная скорость должна обеспечить наибольшую производительность при наименьших затратах энергии.

Для всех перечисленных случаев, кроме первого, предельное значение скорости не должно превышать значений, приведенных на рис. 1-1, а для четвертого случая это значение и является искомым. Для первого случая скорость может иметь любое необходимое значение, но при этом следует иметь в виду, что при превышении определенных значений скоростей время операции сокращаться не будет, если не будут применены системы со специальными параметрами регулирования.

При выборе номинальной скорости иногда решающее значение имеют минимальные скорости, определяемые технологией переработки разнообразных грузов. В настоящее время для большинства технологических процессов переработки грузов получены оптимальные

Таблица 1-3

Шкала рекомендуемых скоростей механизмов подъема, м/с

Положение контролера управления	Диапазон регулирования								
	20:1	20:1	20:1	10:1	6:1	6:1	4:1	4:1	2,5:1
1	0,01	0,02	0,05	0,08	0,12	0,20	0,2	0,06	0,12
2	0,025	0,04	0,1	0,16	0,25	0,5	0,4	0,15	0,25
3	0,05	0,1	0,15	0,3	0,5	1,0	0,8	0,3	0,5
4	0,1	0,2	0,5	0,5	0,8	—	—	—	—
5	0,2	0,4	1,0	0,8	—	—	—	—	—

Производительность и число включений в час грузоподъемных машин неразрывно связаны со скоростными параметрами. Производительность машин соответствует времени завершения операции по переработке груза. Сокращение времени одной операции при определенной траектории движения груза определяет повышение производительности машины. Каждая машина может иметь фактический или условный цикл проведения грузоподъемной операции.

При номинальной или расчетной грузоподъемности производительность механизма, число циклов в час, может быть представлена в виде

$$N = \frac{3600}{\Sigma(\Delta L_к/v_{срk}) + t_{пауз}}, \qquad (1\text{-}3)$$

где ΔL_k — значение k-й составляющей перемещения груза в пределах одного цикла, м; $v_{срk}$ — средняя скорость, м/с; $t_{пауз}$ — время пауз для захвата и освобождения груза, с.

Под полным циклом грузоподъемной операции следует иметь в виду застроповку груза, выбирание слабины каната, подъем груза и его перемещение в необходимую точку, спуск и установку груза, расстроповку и обратное перемещение для начала новой операции. При этом механизмы грузоподъемного устройства имеют минимально необходимое обязательное число включений. Однако по разным причинам в течение цикла оператор производит еще ряд дополнительных включений, связанных с несовершенством системы регулирования, колебаниями груза на гибкой подвеске, недостаточным опытом управления и т. п. Количество таких дополнительных включений может в 2—4 раза превысить число необходимых включений.

Важной задачей разработки высокоэффективных грузоподъемных машин является приближение фактического числа включений к минимально необходимому. В настоящее время наиболее качественные системы регулирования позволяют обеспечить выполнение операций со средним числом включений лишь в 1,5 раза большим минимально необходимого, в то время как наиболее массовые системы параметрического регулирования требуют до 20—30 включений на один цикл перемещения груза, что в 5—6 раз превышает минимально необходимое число включений.

Число включений в час у различных механизмов может составлять от 40—60 при режиме Л; до 500—600 — для режима ВТ. При создании и освоении производства систем управления, обеспечивающих устойчивые скорости с широким диапазоном их изменения, происходит общая тенденция снижения числа включений механизмов при одновременном повышении производительности перегрузочных работ.

в) Обобщенные показатели нагрузок грузоподъемных машин

Если грузоподъемность и скорости машин являются основными показателями, характеризующими их потребительские свойства, то показателями, характеризующими интенсивность работы грузоподъемных машин,

Таблица 1-4

Интенсивность работы грузоподъемных механизмов

Вид грузоподъемной машины	Подъем	Передвижение тележки	Передвижение крана	Поворот и изменение вылета стрелы
Мостовые краны общего назначения:				
подвесные монтажные	1000 / 0,2—0,5	600 / 0,1—0,3	600 / 0,1—0,3	
крюковые при скорости подъема до 0,1 м/с	1500 / 0,2—0,4	1000 / 0,1—0,25	1000 / 0,1—0,25	
крюковые при скорости подъема до 0,1—0,2 м/с	1500 / 0,4—0,8	1000 / 0,3—0,5	1000 / 0,3—0,5	
крюковые при скорости подъема свыше 0,2 м/с	3000 / 0,8—1,3	2000 / 0,5—0,9	2000 / 0,5—0,6	
грейферные, магнитные и магнитно-грейферные	3000 / 0,9—1,5	2000 / 0,5—0,8	2000 / 0,5—0,8	
Литейные краны	1500 / 0,1—0,2	750 / 0,1	700 / 0,1	

Продолжение табл. 1-4

Вид грузоподъемной машины	Подъем	Передвижение тележки	Передвижение крана	Поворот и изменение вылета стрелы
Технологические краны металлургического производства (стрипперные, колодцевые, мульдозавалочные)	4000 / 0,7—1,6	3000 / 0,4—0,8	2500 / 0,4—0,8	800 / 0,2—0,4
Козловые краны:				
крюковые	1000 / 0,1—0,3	600 / 0,1—0,2	600 / 0,1—0,2	
грейферные	1500 / 0,4—0,8	800 / 0,2—0,4	800 / 0,2—0,4	
ремонтные	150 / 0,05	100 / 0,05	100 / 0,03	
Перегружатели рудноугольные	5000 / 3,0	4000 / 2,0	1000 / 0,5	
Перегружатели контейнерные	2000 / 1,0	1500 / 0,5	500 / 0,2	
Башенные строительные краны:				
грузоподъемностью свыше 12 т	100 / 0,2	100 / 0,1	50 / 0,1	100 / 0,1
грузоподъемностью до 12 т	150 / 0,2	100 / 0,1	50 / 0,1	100 / 0,1
краны технологические	1000 / 0,3	200 / 0,2	100 / 0,1	200 / 0,2
Портальные краны:				
монтажные	150 / 0,02	—	50 / 0,01	100 / 0,02
перегрузочные крюковые	3000 / 0,5—0,8	—	500 / 0,05—0,1	1000 / 0,3—0,4
грейферные	3000 / 0,6—1,0	—	500 / 0,05—0,1	1200 / 0,3—0,5
Судовые перегрузочные краны	1000 / 0,6	—	—	300 / 0,25
Строительные стреловые поворотные краны	300 / 0,1	—	—	100 / 0,1
Штабелеры механизированных складов	1500 / 0,2	500 / 0,1	1000 / 0,1	—
Кабельные краны:				
монтажные	150 / 0,02	100 / 0,02		
перегрузочные грейферные	1000 / 0,2—0,3	1000 / 0,2—0,3		
перегрузочные крюковые	1000 / 0,2—0,3	1000 / 0,2—0,3		
Плавучие краны:				
грейферные перегрузочные	1500 / 0,2—0,3			600 / 0,1—0,2
монтажные крюковые	150 / 0,02	100 / 0,02		150 / 0,02

Примечание. В числителе указано среднегодовое число часов работы, в знаменателе — среднегодовое число включений механизмов в долях от 10^3 циклов.

Таблица 1-5

Рекомендуемые категории режимов грузоподъемных машин и их электроприводов

Тип кранов	Главный подъем	Вспомогательный подъем	Передвижение тележки (тали): главного подъема и магнитного	Передвижение тележки (тали): вспомогательного подъема и грейфера	Передвижение крана	Поворот	Вылет стрелы
Мостовые краны общего назначения:							
подвесные монтажные	С	С	С	С	С	—	—
крюковые при скорости главного подъема:							
до 0,1 м/с	Л	Л	Л	—	Л	—	—
0,1—0,2 м/с	С	С	С	—	С	—	—
свыше 0,2 м/с	Т	С	С	—	Т	—	—
грейферные	ВТ	ВТ	ВТ	Т	ВТ	—	—
магнитные	ВТ	ВТ	ВТ	Т	ВТ	—	—
магнитно-грейферные	ВТ	ВТ	ВТ	ВТ	ВТ	—	—
Магнитные краны металлургического производства	ВТ	—	ВТ	—	ВТ	—	—
Литейные мостовые краны	Т	С	С	С	Т	—	—
Специальные мостовые краны:							
для раздевания слитков (стрипперные)	ВТ	Т	ВТ	—	Т	—	—
колодцевые	ВТ	С	ВТ	—	Т	Т	—
ковочные	Т	Т	Т	С	С	—	—
закалочные	Т	С	Т	—	Т	—	—
мульдозавалочные	ВТ	—	ВТ	—	ВТ	ВТ	—
Козловые краны:							
крюковые	С	С	С	—	С	—	—
грейферные	Т	Т	Т	—	Т	—	—
ремонтные	Л	Л	Л	—	Л	—	—
строительно-монтажные	Л	С	Л	С	Л	—	—
Перегружатели:							
угольно-рудные грейферные	ВТ	ВТ	ВТ	—	Л	—	—
контейнерные	Т	—	Т	—	С	—	Л
Башенные строительные краны:							
грузоподъемностью:							
свыше 12 т	Л	—	Л	—	Л	Л	Л
до 12 т	С	—	Л	—	Л	Л	Л
технологические	Т	—	С	—	Л	С	С
Портальные краны:							
монтажные	Л	С	—	—	Л	С	С
перегрузочные крюковые	Т	—	—	—	Л	Т	Т
перегрузочные грейферные	ВТ	ВТ	—	—	Л	Т	Т
Судовые перегрузочные краны и лебедки	Т	—	—	—	С	С	С
Строительные стреловые поворотные краны	С	—	—	—	—	Л	Л
Штэбелеры механизированных складов	Т	—	С	—	Т	—	—
Кабельные краны:							
монтажные	Л	—	Л	—	Л	—	—
перегрузочные грейферные	Т	—	Т	—	Л	—	—
перегрузочные крюковые	С	—	С	—	Л	—	—
Плавучие краны:							
грейферные перегрузочные	ВТ	—	—	—	—	Т	Т
монтажные крюковые	Л	С	С	—	—	С	Л
тяжелые крюковые	Л	С	С			С	С

являются степень загрузки механизмов в течение суток и года, а также среднее число включений.

Ориентировочные данные о числе часов работы в течение года для различных крановых механизмов приведены в табл. 1-4. Там же указаны возможные пределы изменения числа включений за год для этих механизмов при различных системах управления и различных диапазонах регулирования, причем меньшие значения частот включения относятся к системам со стабильными минимальными скоростями и условиями регулирования согласно табл. 1-3. Верхние пределы чисел включений относятся к системам, где получение необходимых минимальных скоростей связано с непрерывным ручным регулированием средней скорости перемещения и отсутствует достаточное количество промежуточных скоростей.

На основе данных по степени загрузки различных механизмов, кранов, скоростных параметров и условий их использования в эксплуатации согласно правилам Госгортехнадзора ряд механизмов может быть отнесен к соответствующим классификационным показателям использования. В табл. 1-5 приведены рекомендуемые категории обобщенных режимов работы грузоподъемных механизмов.

1-2. КРАНОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ. ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

а) Условия эксплуатации

В отличие от электрооборудования, используемого в производственных помещениях и в основном изолированного от агрессивных сред, краны могут быть установлены не только в помещениях, но и на открытом воздухе. При установке в помещениях многие краны находятся непосредственно над линиями технологических механизмов, в среде с повышенными температурами, высокой концентрацией пыли, наличием в воздухе слабых кислот и щелочей (например, в металлургическом и химическом производствах). Некоторые краны в процессе эксплуатации передвигаются из отапливаемого помещения на открытый воздух и обратно. При этом на изоляционных поверхностях возможна конденсация влаги, которая в смеси с производственной пылью может значительно снижать качество поверхностной изоляции токоведущих частей. Эта же конденсированная влага в смеси с пылью усиливает коррозию металлических поверхностей.

Конечно, совокупность перечисленных крайних условий эксплуатации маловероятна, однако, учитывая, что большинство конкретных ограничений заранее предусмотреть невозможно, крановое электрооборудование в максимальной степени должно быть приспособлено для эксплуатации при следующих внешних воздействиях:

1) температура окружающей среды изменяется от —40 до +40° С. В металлургических цехах интервал изменения температур окружающей среды составляет от —10 до +50° С;

2) относительная влажность воздуха характеризуется средним уровнем в 90% при температуре окружающей среды +25° С;

3) осаждение пыли (в том числе токопроводящей) из воздуха 5 г/м² в сутки;

4) осаждение паров кислот из воздуха 500 мг/м² в сутки;

5) механические воздействия (вибрация и удары), вызванные передвижением механизмов, характеризуются интервалом частот 1—50 Гц и ускорением 5 м/с²; одиночные повторяющиеся удары характеризуются ускорением до 30 м/с².

Таблица 1-6

Защита электрооборудования от воздействий внешней среды

Наименование электрооборудования, располагаемого на кране	Механизмы, работающие на открытом воздухе, категория 1				Механизмы, работающие в помещении, категория 2			
					Т2		У2, ХЛ2	
	ОМ1 (открытые палубы)	Т1	У1	ХЛ1	Металлургическое, химическое производство, производство с высокой концентрацией пыли	Склады и общепромышленное производство	Металлургическое, химическое производство, производство с высокой концентрацией пыли	Склады и общепромышленное производство
Электродвигатели	IP56	IP55	IP44	IP44	IP44	IP43	IP44	IP43
Аппаратура на открытых частях крана	IP56	IP55	IP44		IP44	IP23	IP44	IP23
Аппаратура в кабине управления	IP44	IP33	IP33	IP33	IP44	IP23	IP44	IP23
Кожухи для защиты аппаратуры, устанавливаемой непосредственно на механизмах (кроме ящиков резисторов)	IP56	IP44	IP44	IP44	IP44	Защита не требуется	IP44	Защита не требуется
Кожухи для защиты ящиков резисторов	IP56	IP33	IP33	IP23				
Аппаратура в специальных аппаратных помещениях	Защита не требуется				Защита не требуется		Защита не требуется	

Эти условия характерны для кранового электрооборудования общего назначения категорий размещения У1 и У2 по классификации согласно ГОСТ 15150-69.

При использовании кранового электрооборудования только в странах с тропическим климатом, т.е. для категорий размещения Т1 и Т2, значения температур и влажности будут следующими:

1) температура окружающей среды изменяется от +5 до +45° С. В металлургических цехах интервал изменения температур — от +10 до +50° С;

2) относительная влажность воздуха характеризуется средним уровнем 95% при +35° С с периодическим выпадением росы.

При использовании кранового электрооборудования специально в зонах холодного климата, т. е. для категорий размещения ХЛ1 и ХЛ2, интервалы изменения температуры от —60 до +40° С. Для предохранения от воздействий внешней среды крановое электрооборудование должно быть либо само достаточно защищенным, либо размещаться в кожухах с необходимой степенью защиты.

Степени защиты от воздействий внешней среды установлены ГОСТ 14254-69 и ГОСТ 17494-72.

При размещении электрооборудования на кранах и других грузоподъемных машинах следует обеспечивать степени защиты согласно табл. 1-6.

Особые условия использования электрооборудования на кранах регламентированы «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», введенными в действие в 1970 г.

б) Общие рекомендации по проектированию и установке электрооборудования на кранах

Электрооборудование, устанавливаемое на кранах, с учетом специфики его эксплуатации должно иметь повышенную механическую прочность, быть устойчивым к различным перегрузкам и в то же время быть предельно простым при обслуживании и ремонте. По механической прочности крановое электрооборудование должно отвечать требованиям категории М4 по ГОСТ 16962-71.

На основе многолетней практики эксплуатации кранового электрооборудования выработаны следующие общие требования к нему.

1. Расстояние между находящимися под напряжением частями с разными потенциалами, а также между частями, находящимися под напряжением, и заземленными металлическими частями выбирается в соответствии с табл. 1-7.

Таблица 1-7

Изоляционные расстояния в крановом электрооборудовании

Наименование электрооборудования	Расстояние, мм, в зависимости от напряжения			
	по воздуху		по поверхности	
	до 60 В	61—500 В	до 60 В	61—500 В
Электрические машины, распределительные и комплектные устройства	6	14	8	20
Электрические аппараты и тиристорные устройства (кроме раствора контактов)	6	14	8	18
Установочная арматура	3	8	4	10
Блоки электроники, имеющие защиту от пыли	3	6	4	8

2. Весь стационарный внутренний монтаж электрического оборудования должен выполняться медным многожильным проводом сечением не менее 1,5 мм².

3. При монтаже контактов, размыкающих цепи постоянного тока, они должны возвышаться над пластмассовыми деталями (отстоять от них) не менее чем на 6 мм.

4. Сопротивление изоляции электрооборудования между фазами (полюсами) и относительно заземленных частей должно быть не ниже указанных в табл. 1-8.

5. Электрическая прочность изоляции электрических машин должна быть не ниже 1800 В, а трансформаторов и аппаратуры не ниже 1500 В.

6. По коррозионной стойкости электрооборудование категорий У1, У2, ХЛ1, ХЛ2 принадлежит к средней группе С3; электрооборудование категории Т1, Т2, ОМ1 принадлежит к жесткой группе Ж3. Толщина гальванических покрытий для меди и ее сплавов должна быть не ниже 9 мкм для обеих групп. Толщина цинко-

Таблица 1-8

Сопротивление изоляции

Наименование электрооборудования	Минимальное сопротивление изоляции при $t_{окр}$=20°С и относительной влажности не выше 85%, мОм		
	при монтаже		при эксплуатации
	в холодном состоянии	в нагретом состоянии	перед началом работы
Электрические машины	5,0	2,0	1,0
Трансформаторы	5,0	2,0	2,0
Грузоподъемные магниты	10,0	1,0	0,3
Отдельный аппарат	10,0	3,0	1,0
Комплектное устройство	2,0	1,0	0,5

вания стальных деталей должна составлять 15 мкм для группы С3 и 20 мкм для группы Ж3. При кадмировании толщина покрытия может быть снижена на 20—30%.

7. Для обеспечения достаточной надежности контакта электрических цепей все контактные соединения должны иметь устройства, предохраняющие от самоотвинчивания, а также относительно высокие контактные нажатия; нажатие на медные контакты главных цепей 0,2—0,3 Н на 1 А номинального тока; нажатие на серебряные контакты 0,1—0,15 Н на 1 А номинального тока, но не менее 1,5 Н на контакт.

8. Контрольные лампы, измерительные устройства, катушки напряжения аппаратов должны иметь защиту от коротких замыканий или устройства, ограничивающие ток короткого замыкания. Эти приборы могут не иметь своих устройств защиты, если защита предыдущей ступени питания рассчитана на ток не более 25 А.

9. При оперативных размыканиях цепей постоянного тока с индуктивностью максимальное напряжение в цепи не должно превышать 1400 В.

10. При установке электрооборудования в высокогорных условиях оно может применяться в обычном конструктивном исполнении до высот 4000 м над уровнем моря при снижении нагрузок на 12% на каждые 1000 м подъема сверх первой тысячи метров над уровнем моря. При высотах над уровнем моря свыше 2000 м номинальное напряжение должно быть не выше 380 В.

11. Комплектные устройства, устанавливаемые на подвижных частях кранов, должны крепиться не менее чем в двух точках в нижней части и двух точках в верхней части с тем, чтобы обеспечить равномерную нагрузку на рамы при ускорениях и замедлениях.

12. Оболочки аппаратов и комплектных устройств должны иметь такую конструкцию, которая позволяет при открытых крышках (дверях) обеспечить доступ ко всем токопереходам с одной (лицевой) стороны. Открывание крышек (дверей) должно осуществляться без инструмента или, в крайнем случае, с помощью отверток.

13. Максимальная высота комплектных устройств, устанавливаемых на кранах, должна быть не более 1800 мм.

14. Нажатие, обеспечивающее контактные соединения в аппаратах, не должно передаваться через изоляцию, в том числе изоляционные монтажные доски. Исключение составляют: фарфор, стеатит, кордиерит. Конструкции катушек и токоподвода к ним должны быть такими, чтобы усилие от соединительных проводов не передавалось на витки катушки.

Таблица 1-9

Характеристики выводных зажимов

Номинальный ток, А	Интервал сечений подводимых проводов, мм²	Форма головки винтов и болтов	Размеры резьбы, мм	
			контактных выводов	выводов заземления
6	1—2,5	Цилиндрическая со шлицем	М3	М5
10	1—4	Цилиндрическая или шестигранная со шлицем	М4	М5
16	1,5—6,0	То же	М4	М5
25	2,5—10	»	М5	М5
40	4—16	»	М5	М6
63	6—25	»	М6	М6
100	10—50	»	М6	М6
160	25—95	Шестигранная со шлицем	М8	М8
250	70—150	Шестигранная без шлица	М10	М8
400	120—2×120	То же	М12	М8
630	150—2×185	»	М16	М8

15. Выводные зажимы аппаратов и комплектных устройств должны иметь параметры согласно табл. 1-9.

16. Электрооборудование кранов электролитических цехов, рассчитанных на подъем деталей, находящихся под напряжением до 800 В, должно иметь дополнительные ступени изоляции по отношению к конструкциям кранов, находящимся под напряжением.

17. Металлические маховики и ручки должны быть электрически соединены с заземленными частями аппаратов. Допускается электрическое соединение осуществлять через металлические подшипниковые сочленения.

18. Установку аппаратов в комплектных устройствах, предназначенных для эксплуатации в условиях повышенной запыленности, рекомендуется осуществлять на изоляционных досках с тем, чтобы снизить вероятность перекрытий между аппаратами в эксплуатации. Материал изоляционных досок не должен поддерживать горения.

19. Основные стандарты, используемые для кранового электрооборудования:

Электрооборудование. Основные понятия	ГОСТ 18311-62
Ряд номинальных мощностей электрических машин	ГОСТ 12139-74
Ряд линейных размеров	ГОСТ 6636-69
Электрические машины	ГОСТ 183-74
Электрические аппараты	ГОСТ 12434-73
Исполнения для различных климатических районов. Категории и условия эксплуатации	ГОСТ 15150-69
Механические и климатические воздействия	ГОСТ 16962-71
Условия эксплуатации в части механических и климатических воздействий	ГОСТ 17516-72
Условия эксплуатации в части климатических воздействий	ГОСТ 15543-70
Общие технические требования к изделиям, эксплуатирующимся в холодном климате	ГОСТ 17412-72
Общие технические требования к изделиям, эксплуатирующимся в тропиках	ГОСТ 15963-70
Степени защиты оболочек аппаратов	ГОСТ 14254-69
Подвесные краны	ГОСТ 7890-73
Крюковые опорные краны	ГОСТ 6711-70
Башенные строительные краны	ГОСТ 13555-68
Самоходные стреловые краны	ГОСТ 9622-72
Степени защиты оболочек электрических машин	ГОСТ 17494-72
Условные обозначения в электрических схемах	ГОСТ 2.721-74 ГОСТ 2.728-74 ГОСТ 2.755-74

1-3. ПИТАНИЕ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

а) Питающие сети и качество электроэнергии

Грузоподъемные машины в большинстве своем являются устройствами, от надежности работы которых зависит нормальный ход производства, поэтому в со-

ответствии с ПУЭ электроприводы кранов относятся к категории потребителей не ниже второй, для которой перерыв питания допускается только на время переключения питания с основной сети на резервную. Ряд кранов, такие, как литейные, перегрузочные для операций со взрывоопасными, ядовитыми или радиоактивными грузами, и некоторые другие относятся к приемникам первой категории, которые должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников, при этом перерыв питания может быть допущен только на время автоматического ввода резервного питания.

Крановые электроприводы могут получать питание от трехфазных сетей переменного тока промышленного предприятия или от специальных единых общезаводских сетей постоянного тока. Основным напряжением для питания крановых механизмов является напряжение 380 В для переменного тока 50 Гц и 220 В для постоянного тока. Наряду с этими напряжениями по согласованию с изготовителями крановое электрооборудование может изготавливаться для следующих нестандартных напряжений:

1) постоянный ток 440 В;

2) переменный трехфазный ток: 220 В, 50 Гц; 380 В, 60 Гц; 440 В, 60 Гц; 415 В, 60 Гц; 415 В, 50 Гц; 500 В, 50 Гц.

На напряжение свыше 440 В постоянного тока и 500 В переменного тока крановое электрооборудование не изготавливается. В перспективе намечается использование для питания крупных кранов напряжения 660 В, 50 Гц.

Качество электроэнергии переменного тока определено ГОСТ 13109-67. Допуск на отклонение частот от номинального значения составляет ±0,2 Гц. Допустимые колебания напряжения сети, предназначенной для питания электроприводов, от —5% до +10%.

Несимметрия фазных напряжений в трехфазной сети допускается в пределах до 2% номинального значения. Несинусоидальность формы кривой напряжения за счет высших гармоник не должна превышать 5% действующего значения напряжения основной частоты.

Питание грузоподъемных машин с электроприводом весьма разнообразно как в отношении источников питания, так и числа потребителей, получающих питание от одной линии. Наименьшие мощности питающих сетей имеют место для строительных кранов, наибольшие — в питающих сетях кранов металлургического и химического производства, а также на машиностроительных заводах тяжелого машиностроения. В связи с универсальностью использования большинства грузоподъемных машин общего назначения при конструировании электрооборудования приняты следующие допущения:

1) мощности питающих сетей для строительных башенных кранов жилищного строительства не превышают 500 кВ·А;

2) мощности питающих сетей для мостовых и козловых кранов общего назначения, портальных кранов составляют 500—1600 кВ·А;

3) мощности питающих сетей судовых грузоподъемных механизмов не превышают 2000 кВ·А;

4) мощности питающих сетей кранов металлургического производства и перегружателей могут достигать 5000 кВ·А.

Под мощностью питающих сетей подразумевается установленная мощность трансформатора и генератора на линии, питающей кран.

б) Токи короткого замыкания

Надежная работа кранового электрооборудования во многом зависит от устойчивости всех элементов разветвленной сети питания крановых электроприводов к токам короткого замыкания (к. з.). Вероятность к. з. в цепях и элементах электрооборудования кранов значительно выше, чем у стационарных механизмов, ввиду того, что краны при работе создают вибрацию, ударные сотрясения и ускорения, которых нет у стационарных установок. Расположение крановых механизмов в верхней части зданий, где концентрация пыли и газов значительно выше, чем в специальных электротехнических помещениях, также ухудшает условия эксплуатации. С учетом этих обстоятельств электрооборудование кранов должно быть в целом устойчиво к последствиям возможных к. з. в пределах электрической сети крана.

Токи к. з. в стационарных сетях определяются в основном параметрами сверхпереходных индуктивных сопротивлений питающих источников и электрических машин потребителей. Для крановых механизмов с большим числом токопереходов, стальными троллеями или относительно длинными питающими кабелями токи к. з. в значительной мере определяются активными сопротивлениями этих элементов.

Фазный ток к. з., А, в пределах электрической сети переменного тока кранового механизма к концу второго периода, т. е. при $t_{к.з}=0{,}04$ с, с достаточной для практики точностью может быть определен по формуле

$$I_{к.з.ф} = 12I_н + \frac{U^2}{100}(\lg P - 1)^2, \qquad (1\text{-}4)$$

где $I_н$ — номинальный длительный ток кабеля в сети, где произошло к. з., А; P — мощность трансформатора (или генератора) питающего сеть, кВ·А.

Ударный ток к. з. в момент времени $t_{к.з}=0{,}01$ с может составлять 150—200% тока к. з., определенного по (1-4). Для обеспечения стойкости к к. з. аппаратура должна иметь электродинамическую стойкость в пределах тока к. з. по (1-4) и односекундную термическую стойкость к токам, составляющим не менее 40% тока, определенного по (1-4). Защитное устройство на линии питающей кран, должно быть рассчитано на отключение тока к. з., а защита на кране, срабатывающая в течение времени, превышающем 0,06 с, должна быть рассчитана на отключение тока, составляющего 60% значения, определенного по (1-4).

Монтажные провода в электрической аппаратуре, а также все провода внешнего монтажа в пределах механизма должны выбираться, исходя из наибольших возможных в эксплуатации токов в получасовом максимуме нагрузок данного участка электрической цепи. Эти нагрузки должны приниматься как длительные для монтажных проводов и кабельных сетей. Учитывая, что крановые электроприводы эксплуатируются в повторно-кратковременном режиме, медные провода и кабели сечением 10 мм² и более и алюминиевые сечением 16 мм² и более могут быть нагружены током, в k раз больше номинального:

$$k \approx \frac{0{,}875}{\sqrt{ПВ/100}}, \qquad (1\text{-}5)$$

где ПВ — относительная продолжительность включения, %.

При температурах окружающей среды, превышающих +25° С, допустимая нагрузка проводов и кабелей с резиновой изоляцией снижается до следующих значений:

При +40°С . . . . $0{,}76I_н$
При +45°С . . . . $0{,}66I_н$
При +50°С . . . . $0{,}54I_н$
При +55°С . . . . $0{,}30I_н$

Общую защиту крановых электроустановок при суммарной мощности электродвигателей до 250 кВт на переменном токе и 150 кВт на постоянном токе следует осуществлять автоматическими выключателями серии А3700. Для особо мощных кранов с токами в питающих линиях 1000 А и выше в качестве защитных устройств следует использовать воздушные выключатели АМ8—АМ15.

В отдельных цепях электроприводов при сечении отходящих проводов до 2,5 мм^2 можно применять установочные автоматы АП50, АК63, АСТ25 с отключающей способностью не ниже 1200 А. Поскольку двигатели электрогидравлических толкателей тормозов получают питание от сравнительно мощных сетей, они должны иметь индивидуальную защиту с помощью автоматических выключателей АК63, АСТ25.

При выборе уставки электромагнитного расцепителя защитного автомата в цепях электроприводов переменного тока нужно учитывать его быстродействие. Современные автоматы срабатывают в течение первого периода, поэтому они могут реагировать на апериодическую составляющую пускового тока асинхронного электродвигателя. С учетом отстройки от апериодической составляющей пускового тока и допустимых разбросов пускового тока ток отсечки электромагнитного расцепителя автомата необходимо иметь равным:

$$I_{\text{ср}} \geqslant 1,8 I_{\text{п.дв}} + \Sigma I_{\text{с.дв}}/0,3m, \qquad (1\text{-}6)$$

где $I_{\text{п.дв}}$ — расчетное значение пускового тока наибольшего по мощности двигателя, защищаемого автоматом; $I_{\text{с.дв}}$ — статические токи нагрузки двигателей других механизмов в установившемся режиме; m — число электроприводов крана.

1-4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КРАНОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

а) Основные определения

Под системой управления электроприводом в дальнейшем будем подразумевать комплекс, состоящий из преобразователя электрической энергии (если таковой имеется), аппаратуры управления для коммутации тока в цепи электродвигателя, органа ручного управления или автоматического (программного) контроля, органа скоростного, путевого или иного контроля, а также элементов защиты электрооборудования и механизма, действующих в конечном счете на устройства отключения электропривода.

Все электрические цепи подразделяются на:

1) главные цепи, через которые проходит основной поток энергии электропривода, а также осуществляется питание грузоподъемных магнитов;

2) цепи возбуждения, через которые проходит ток возбуждения электрических машин постоянного тока, синхронных электрических машин переменного тока или электромагнитов тормозных устройств, а также ток двигателей электрогидравлических толкателей;

3) цепи управления, по которым осуществляется подача команд к коммутационным устройствам главных цепей и цепей возбуждения от органов управления. В цепях управления осуществляется также определенная последовательность выполнения команд и переключений по заранее заданной программе;

4) цепи сигнализации, которые передают оператору или контролирующему устройству информацию о состоянии коммутирующих элементов главных цепей и цепей управления или о значениях конкретных параметров электропривода и механизма.

В крановых электроприводах применяют электромашинные и статические преобразователи электрической энергии. В электромашинных преобразователях две (или более) электрические машины преобразуют электроэнергию, потребляемую от питающей сети, в электроэнергию с регулируемыми параметрами (напряжение, частота, ток). В статических преобразователях преобразование электрической энергии осуществляется путем бесконтактной коммутации цепей постоянного или переменного тока с помощью управляемых и неуправляемых полупроводниковых приборов.

Аппаратура управления электроприводом является комплексом, включающим контактные и бесконтактные устройства коммутации в цепях электродвигателя, преобразователей энергии и управления, а также элементы защиты электрических цепей.

Всю контактную аппаратуру в крановом электроприводе можно разделить на две группы:

1) управление осуществляется непосредственно оператором или исполнительным механизмом (контроллеры, конечные выключатели);

2) с приводом контактов от электромагнитного устройства (контакторы и реле).

Если контактные коммутационные элементы аппарата с непосредственным ручным приводом предназначаются для коммутации цепей главного тока, то такое устройство называется *силовым кулачковым контроллером*, а если эти элементы служат для коммутации цепей управления, то такой аппарат называется *командоконтроллером*. Если контактные коммутационные элементы приводятся в действие через связь с механизмом, то такие аппараты называются *конечными* или *путевыми выключателями*.

Последовательность замыкания и размыкания контактов, приводимых в действие от вала с кулачковыми шайбами, в функции угла поворота вала, называется *диаграммой включений*. Диаграмма включений, изображенная в виде таблицы, называется *таблицей включений*. Несколько контакторов и реле, а также различные устройства защиты, объединенные в законченное комплектное устройство для управления электроприводом, именуются *магнитными контроллерами*.

б) Классификация систем управления

Системы управления крановыми механизмами относятся к категории устройств, находящихся под непрерывным контролем оператора, т. е. в этих системах выбор момента начала операции, скоростных параметров и момента окончания операции осуществляется лицом, управляющим механизмом. В свою очередь система управления должна обеспечивать необходимую последовательность переключений для реализации желаемых скоростных параметров, предотвратить при этом недопустимые перегрузки и обеспечить необходимую защиту.

Все многообразие различных систем управления может быть разделено на следующие группы.

По способу управления:

1) управляемые непосредственно силовыми кулачковыми контроллерами, где весь процесс управления, включая выбор необходимых ускорений, осуществляется исключительно оператором;

2) управляемые кнопочными постами, где возможности управления ограничены конструктивными особенностями поста;

3) управляемые сложным комплектным устройством (магнитным контроллером с использованием преобразователя энергии или без него). В этом случае оператор выбирает только необходимые скорости, а процессы разгона, торможения и необходимые промежуточные переключения осуществляются автоматически.

По условиям регулирования:

1) с регулированием скорости ниже номинальной;

2) с регулированием скорости выше номинальной и ниже номинальной;

3) с регулированием ускорения и замедления.

Параметры регулирования систем управления неразрывно связаны с регулировочными свойствами приводных электродвигателей.

В крановом электроприводе используется четыре типа электродвигателей:

1) электродвигатели постоянного тока с последовательным или независимым возбуждением. Они допускают регулирование скорости, ускорений и замедлений путем регулирования подводимого к якорю двигателя напряжения и тока возбуждения.

2) асинхронные электродвигатели переменного тока с фазным ротором. Они позволяют осуществлять регулирование скорости, ускорения и замедления, в частности, путем введения в цепь ротора резисторов;

3) асинхронные электродвигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором. При постоянной частоте сети они имеют практически постоянную частоту вращения, а при регулируемой частоте сети допускают регулирование частоты вращения соответственно изменению частоты преобразователя;

4) асинхронные электродвигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором и двумя или тремя обмотками на статоре с разным числом полюсов. Они допускают регулирование скорости соответственно изменению числа пар полюсов обмоток. Для этих двигателей по конструктивным особенностям наибольший возможный диапазон регулирования 6:1 при постоянной частоте.

В соответствии с приведенной классификацией в крановом электроприводе существуют и используются следующие системы управления.

Системы непосредственного управления с помощью силовых кулачковых контроллеров. Наиболее распространенной в крановом электроприводе является система управления на основе использования силовых кулачковых контроллеров.

Управление электродвигателями постоянного тока осуществляется кулачковыми контроллерами, имеющими различные схемы соответственно их назначению.

Для механизмов подъема применяется несимметричная схема контроллера с потенциометрическим включением якоря двигателя на положениях спуска, а для механизмов передвижения используется симметричная схема контроллера с последовательно включенными сопротивлениями (К—Д).

Управление асинхронными электродвигателями переменного тока с фазным ротором осуществляется кулачковыми контроллерами, имеющими однотипную конструкцию и различные схемы включения (К-АДФ).

Контроллеры осуществляют коммутацию обмоток статора, а также коммутацию ступеней сопротивлений в цепи ротора.

Все контроллеры переменного тока позволяют осуществлять регулирование скорости электродвигателей с фазным ротором в диапазоне 2,5:1 за счет введения в цепь ротора регулировочных ступеней сопротивлений.

Основная область применения силовых кулачковых контроллеров — управление наиболее простыми электроприводами легкого и среднего режимов работы с диапазоном регулирования скорости не более 3:1 и небольшим числом включений в час.

Системы управления крановыми электроприводами с использованием магнитных контроллеров. Эти системы применяются для установок постоянного (МК-Д) и переменного (МК-АДФ) токов. В этих системах используются различные устройства регулирования скорости с релейно-контакторными схемами включения обмоток электродвигателей и резисторов.

В составе магнитных контроллеров для коммутации цепей применяются контакторы с электромагнитным приводом постоянного и переменного токов, электромагнитные реле напряжения, времени и тока, резисторы, полупроводниковые выпрямители и другие устройства коммутации и управления. Операции по управлению в этих системах осуществляются с помощью командоконтроллеров.

Выбор магнитных контроллеров осуществляется с учетом рода тока питающей сети и типа кранового механизма, мощности при заданных режимах крана, условий эксплуатации, реализаций необходимого диапазона регулирования скорости.

Ограничением применения магнитных контроллеров, как правило, является реализуемый с их помощью диапазон регулирования с учетом имеющейся системы питания.

Применение более сложных систем с электромашинными или статическими преобразователями энергии определяется более высокими требованиями к условиям регулирования или ограничениями, связанными с системами питания.

Система переменного тока с тиристорным регулятором напряжения. Через тиристорный регулятор напряжения получает питание обмотка статора асинхронного электродвигателя с фазным ротором (ТРН-АДФ). Эта система занимает промежуточное положение между МК-АДФ и системами с более сложными преобразователями энергии. При автоматическом регулировании напряжения с обратной связью по скорости система ТРН-АДФ позволяет достигнуть регулирования скорости в диапазоне 10:1, но при этом в системе необходимо иметь тахометрический контроль частоты вращения со всеми связанными с этим неудобствами (передача через троллеи маломощных сигналов). Такие системы могут эффективно использоваться для механизмов горизонтального перемещения с относительно высокими значениями моментов инерции движущихся частей, когда применение электродвигателя с фазным ротором почти неизбежно. При использовании в системах ТРН-АДФ тиристорных регуляторов напряжения появляется возможность бестоковой коммутации статорных обмоток электродвигателей, что значительно повышает срок службы и износостойкость электроприводов. Основным недостатком системы является применение тахометрического контроля скорости, а также необходимость в высококвалифицированном обслуживании блоков электроники регуляторов.

Система генератор—двигатель. Система Г—Д из всех систем с электромашинными преобразователями энергии получила наибольшее распространение в крановых электроприводах. Среди систем управления, обладающих высокими регулировочными свойствами, система Г—Д до недавнего времени являлась наиболее эффективной для обеспечения широкого диапазона регулирования при всех условиях нагрузки кранового электропривода.

В крановом электроприводе сложилось несколько типовых решений, используемых, как правило, для крупных и ответственных установок, каковыми являются рудно-угольные перегружатели, крупные монтажные краны, плавучие краны.

Система Г—Д состоит из электродвигателя постоянного тока, получающего питание от генератора постоянного тока с регулируемым напряжением. Электродвигатель имеет независимое возбуждение с регулируемым током возбуждения, благодаря чему в системе осуществляется двухзонное регулирование скорости: в сторону уменьшения путем изменения напряжения генератора и в сторону увеличения путем уменьшения тока возбуждения двигателя. Широкий диапазон регулирования может обеспечиваться без применения тахогенераторов или иных устройств контроля скорости.

Управление электроприводом по системе Г—Д осуществляется путем изменения значения и направления тока возбуждения генератора. Применяются два типа систем управления:

1) с релейно-контакторным регулированием в цепях возбуждения электрических машин;

2) с бесконтактным регулированием токов возбуждения при помощи магнитных усилителей или тиристорных регуляторов.

По способу питания главной цепи системы управления также имеют два исполнения:

1) с постоянно замкнутой главной цепью, когда якорь электродвигателя постоянно соединен с якорем генератора;

2) система с коммутируемой главной цепью, когда от одного генератора поочередно могут получать питание несколько электродвигателей, отключаемых и подключаемых с помощью контакторов при равенстве нулю напряжения генератора.

Системы Г—Д обладают хорошими регулировочными характеристиками, сравнительно невысокой стоимостью и высоким уровнем срока службы. Однако при их применении необходимо размещать в стесненных помещениях крановых установок вращающиеся преобразовательные агрегаты, что является основным условием, ограничивающим их применение. Кроме того, системы Г—Д требуют регулярного обслуживания и повышенных затрат на профилактический уход.

Системы с тиристорными преобразователями напряжения и двигателями постоянного тока. Система ТП—Д является весьма близким аналогом системы Г—Д, где вместо электромашинного преобразователя постоянного тока используется тиристорное устройство, представляющее собой один или два выпрямителя с регулируемым напряжением за счет изменения угла открытия тиристоров. Поскольку регулируемый выпрямитель может проводить ток только в одном направлении, то крановые системы с ТП имеют три исполнения:

1) с реверсивным выпрямительным устройством, в котором используются два встречно-включенных выпрямителя. Якорь электродвигателя получает питание от одного выпрямителя и работает в режиме потребления энергии при угле регулирования до 90° или в режиме рекуперации при противоположном направлении вращения и угле регулирования свыше 90°. При питании от второго выпрямителя осуществляются также два режима, но при противоположном направлении тока, благодаря чему обеспечивается работа во всех четырех квадрантах механических характеристик;

2) с одним выпрямительным устройством, в котором для изменения направления тока используется контактный реверс главной цепи. Такое переключение осуществляется автоматически без тока, как только напряжение на якоре электродвигателя становится выше напряжения, создаваемого выпрямителем, или по команде оператора при закрытом выпрямителе;

3) с одним выпрямительным устройством, которое обеспечивает работу электродвигателя в режимах потребления энергии и рекуперации при изменении направления вращения (I и IV квадранты). Для обеспечения работы во II и III квадрантах производится изменение направления тока в обмотке возбуждения электродвигателя.

Первая система является наиболее универсальной, но в то же время она требует наибольших габаритов преобразователя. Наиболее эффективно использование этой системы для мощности двигателя 100—300 кВт. Вторая система имеет наименьшие массогабаритные показатели, но возможность ее применения ограничивается конструктивными параметрами контактного переключающего устройства при мощности электродвигателя не более 100 кВт. Третья система обладает рядом недостатков, связанных с необходимостью реверсирования тока в обмотке возбуждения, и применяется в основном для мощных электроприводов (мощностью выше 300 кВт), имеющих малое число включений в час (крупные литейные краны).

Во всех системах ТП—Д применяется устройство для регулирования тока в обмотке возбуждения электродвигателя.

Системы ТП—Д обладают хорошими регулировочными свойствами. При диапазоне регулирования 8:1 они не требуют применения тахогенераторов для контроля скорости, однако они являются относительно сложными агрегатами с высокой стоимостью единицы установленной мощности и требуют квалифицированного обслуживания. Недостатком системы ТП—Д является ухудшение ими качества электроэнергии в сети, особенно при маломощных источниках питания. При питании от источника мощностью менее 300% мощности электродвигателя возникающие при этом помехи могут превысить допустимый уровень.

Системы управления с тиристорными преобразователями частоты. В крановых электроприводах начинают использоваться системы с тиристорными преобразователями частоты, что позволяет при применении асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором получить большой диапазон регулирования и добиться высоких динамических показателей электропривода (ТПЧ—АД). Тиристорные преобразователи частоты инверторного типа, обеспечивающие плавное регулирование частоты в интервале 5—70 Гц, являются весьма сложными устройствами, которые пока не нашли большого применения в крановом электроприводе. Тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью относительно просты по схеме и конструктивному исполнению, однако могут быть использованы для формирования напряжения регулируемой частоты переменного тока только в интервале 3—20 Гц при питании от сети промышленной частоты. В связи с этой особенностью преобразователи частоты с непосредственной связью используются в трех вариантах:

1) системы с диапазоном регулирования 4:1 для механизмов горизонтального передвижения кранов путем непосредственного питания через преобразователи частоты с непосредственной связью асинхронных короткозамкнутых двигателей (ПЧН—АД);

2) системы с высоким и особо высоким диапазоном регулирования, когда обмотки двухскоростного короткозамкнутого асинхронного электродвигателя имеют смешанное питание от сети с частотой 50 Гц и от преобразователя частоты (ПЧН—АДП). При этом максимальный диапазон регулирования 60:1;

3) системы с высокими динамическими показателями, когда обмотка статора с числом пар полюсов 4 двухскоростного асинхронного электродвигателя с числом полюсов 4/6 получает питание от преобразователя частоты, благодаря чему до частоты вращения 500 об/мин осуществляется плавное увеличение скорости, затем дальнейшее увеличение скорости происходит в две ступени до 1000—1500 об/мин (ПЧН—АДП). Такая система обладает наименьшей массой на единицу мощности из всех известных систем с диапазоном регулирования скорости около 8:1.

Применение систем с преобразователями частоты является единственно возможным для крановых механизмов, работающих в условиях, где невозможен доступ для обслуживания (агрессивные и радиоактивные среды).

При диапазоне регулирования скорости более высоком, чем 20:1, применение систем с преобразователями частоты является практически единственно возможным, так как все другие системы при этих диапазонах

Таблица 1-10

Сравнительные технические данные различных систем электроприводов

Показатели систем электроприводов	Сеть переменного тока							
	Асинхронный электродвигатель с фазным ротором			Асинхронный короткозамкнутый электродвигатель		Асинхронный двухскоростной короткозамкнутый электродвигатель		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Условное наименование системы	К—АДФ	МК—АДФ	ТРН—АДФ	К—АД	ПЧИ—АД	МК—АДП	ПЧН—АДП	ПЧН—АДП
Диапазон мощностей, кВт	2—30	2—180	2—180	2—15	40—80	2—40	2—80	20—60
Диапазон регулирования скорости (ниже номинальной)	2,5:1	4:1; 6:1	10:1	1:1	10:1	6:1	8:1	60:1
Диапазон регулирования скорости (выше номинальной)	—	—	—	—	2:1	—	—	—
$\frac{GD^2 n_н^2}{M_{макс}}$, выраженное в долях от значения варианта К—АДФ	1,0	0,9	0,9	1,0	0,4	1,5	1,0	1,5
Вероятность безотказной работы за 6 мес	0,9	0,9	0,85	0,92	0,8	0,95	0,9	0,9
Возможность работы без обслуживания и наблюдения	Нет	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Возможность дистанционного управления	Нет	Есть	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Есть
Допустимое число включений (до наибольшей скорости)	120	600	600	120	1200	300	600	120
Электрическая износостойкость в долях от 10^6 циклов	0,3	1,0	10	0,3	20	0,3—1,0	1,0	1,0
Эксплуатационное обслуживание	Электромонтером средней квалификации		Электромехаником высокой квалификации	Электромонтером средней квалификации	Электромехаником высокой квалификации	Электромонтером средней квалификации	Электромехаником высокой квалификации	
Условия наладки	Наладки не требует		Сложная наладка	Наладки не требует	Сложная наладка	Наладки не требует	Сложная наладка	

Продолжение табл. 1-10

Показатели систем электроприводов	Сеть постоянного тока					
	Электродвигатель постоянного тока					
1	10	11	12	13	14	15
Условное наименование системы	МК—Д	Г—Д	ТП—Д	ТП—Д	К—Д	МК—Д
Диапазон мощностей, кВт	3—150	20—180	50—100	100—200	3—15	3—180
Диапазон регулирования скорости (ниже номинальной)	6:1	10:1	10:1	10:1	4:1	6:1
Диапазон регулирования скорости (выше номинальной)	2,5:1	2,5:1	2,5:1	2,5:1	2:1	2,5:1
$\frac{GD^2 n_н^2}{M_{макс}}$, выраженное в долях от значения варианта К—АДФ	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Вероятность безотказной работы за 6 мес	0,92	0,92	0,85	0,88	0,88	0,9
Возможность работы без обслуживания и наблюдения	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Возможность дистанционного управления	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть
Допустимое число включений (до наибольшей скорости)	600	1200	600	1200	120	600
Электрическая износостойкость в долях от 10^6 циклов	1,0	2,0	20	20	0,3	1,0
Эксплуатационное обслуживание	Электромонтером средней квалификации		Электромеханиками высокой квалификации		Электромонтерами средней квалификации	
Условия наладки	Наладки не требует	Наладка простая	Сложная наладка		Наладки не требует	

требуют применения тахометрического контроля скорости, что для крановых механизмов неприемлемо. Недостатками системы являются относительно высокая стоимость, сложная первоначальная наладка и необходимость квалифицированного обслуживания, а также передача в сеть помех.

Сравнительные технические данные различных систем электроприводов приведены в табл. 1-10.

в) Перспективные требования к системам управления электроприводами грузоподъемных машин

Наряду с обязательными требованиями, вытекающими из правил Госгортехнадзора и ПУЭ, на основе опыта эксплуатации и перспектив развития систем управления ниже приведены требования, рекомендуемые к реализации при разработке новых систем.

1. При выключенном электроприводе подъема (на нулевом положении) должен существовать контур динамического торможения, обеспечивающий в случае выхода из строя механического тормоза медленное опускание груза. (Это требование, давно безусловно реализуемое в системах постоянного тока, является перспективным и для систем переменного тока.)

2. На первых положениях подъема двигатель должен развивать такой пусковой момент, чтобы исключалась возможность спуска номинального груза при напряжении питающей сети 90% номинального и в то же время желательная минимальная скорость составляла при наименьшей нагрузке не более 30% номинального значения.

3. При перемещении рукоятки командоконтроллера в направлении снижения скорости последняя не должна повышаться даже кратковременно. Это в первую очередь относится к переключению с первого положения в нулевое, когда запаздывание механического торможения не должно приводить к повышению малой скорости спуска.

4. Система электрического торможения должна иметь необходимый запас, обеспечивающий надежное замедление груза, равного 125% номинального, при напряжении питающей сети 90% номинального.

5. Движение груза должно происходить только в направлении, устанавливаемом командоаппаратом, даже при неисправностях в схеме. В последнем случае груз может оставаться неподвижным.

6. Скорость перемещения грузов для электропривода переменного тока рекомендуется иметь на 30% выше, чем для электропривода постоянного тока при одинаковых условиях использования механизмов.

7. Положениям малой и посадочной скоростей должны соответствовать скорости, мало изменяющиеся от нагрузки, с тем, чтобы оператор мог, не наблюдая за грузом, обеспечить его безопасную (точную) посадку и подъем.

8. Для механизмов горизонтального перемещения наряду с регулированием интенсивности разгона и торможения (регулирования вращающего момента) желательно иметь не менее чем по одному положению минимальной скорости, мало изменяющейся в зависимости от нагрузки, для обеспечения точной остановки или «доводки» механизма, а также успокоения раскачки грузов.

9. Управление механизмом желательно иметь с помощью только одного рычага управления с тем, чтобы крановщик не отвлекался на поиски различных дополнительных рукояток (или кнопок). Это требование относится также и к грейферным механизмам. Управление горизонтальным передвижением желательно сосредоточить в одной рукоятке, объединяющей управление передвижением моста и тележки или поворота и стрелы.

Для повышения эффективности управления грейферными механизмами следует рекомендовать управление с помощью одной рукоятки и регулируемого программного устройства автоматизированного включения механизмов.

г) Технико-экономическое обоснование выбора системы управления для крановых машин

Выбор системы управления для крановых механизмов осуществляется на основе анализа сравнительных технических данных табл. 1-10, а именно: диапазона регулирования, способа управления, ресурса (уровня износостойкости), диапазона возможных мощностей электроприводов, показателей энергетики и динамики, а также дополнительных данных, определяющих условия эксплуатации электроприводов.

Экономическая оценка систем управления должна базироваться на принципе минимальных расходов, связанных с первоначальными затратами, эксплуатационными затратами на ремонт, а также затратами энергии, потребляемой из сети на разгон и торможение крановых механизмов за период эксплуатации до капитального ремонта (10 лет).

Экономическая оценка может быть осуществлена расчетом по формуле

$$A = P_н (C_{дв} + C_с) + \frac{10 (C_{дв} + C_с) P_н S}{S_{доп}} + 0{,}8\cdot 10^{-4} \beta\gamma Z T P_н^{\frac{3}{2}}, \qquad (1\text{-}7)$$

где A — экономический эффект, руб.; $P_н$ — номинальная мощность электропривода, кВт; $C_{дв}$ — стоимость 1 кВт мощности электродвигателя, руб., определяется по табл. 1-11; $C_с$ — стоимость системы управления на 1 кВт мощности электропривода, руб., определяется по табл. 1-11; S — число включений за год работы, определяется по табл. 1-4; $S_{доп}$ — износостойкость системы (допустимое число включений), определяется по техническим данным соответствующих аппаратов; β — коэффициент, характеризующий потери при пуске, торможении и регулировании скорости; $\beta = 1{,}0$ — кулачковые и магнитные контроллеры, управляющие двигателями с фазным ротором; $\beta = 0{,}8$ — кулачковые и магнитные контроллеры, управляющие электродвигателями постоянного тока, а также трехскоростные короткозамкнутые электродвигатели, управляемые магнитными контроллерами; $\beta = 0{,}4$ — системы Г—Д, ТП—Д; ТПЧ—АД;

Таблица 1-11

Сравнительные экономические данные системы электроприводов

Элементы электроприводов	Интервал мощностей электропривода, кВт: 2-5	5-12	12-30	30-70	70-150	Свыше 150
$C_{дв}$, руб/кВт:						
электродвигателя постоянного тока	120	72	38	28	26	25
с фазным ротором	50	28	17	15	13	11
двух-, трехскоростной короткозамкнутый	60	40	28	25	—	—
$C_с$, руб/кВт, комплект:						
аппаратуры силового кулачкового контроллера	10	5,5	3,0	3,0	—	—
аппаратуры магнитного контроллера	75	40	16	9,0	7,5	6,5
питания и управления системы Г—Д	120	70	42	32	22	20
питания и управления системы ТП—Д	250	200	80	50	32	30
питания и управления системы ПЧН—АДП	—	320	160	65	—	—
аппаратуры управления системы ТРН—АДФ	—	200	80	45	32	—

γ — коэффициент, характеризующий приведенные моменты инерции механизмов: $\gamma=1,0$ — механизмы подъема, изменения вылета стрелы; $\gamma=2,5$ — механизмы тележки, поворота; $\gamma=4,0\div8,0$ — механизмы передвижения крана; Z — число пусков в час; T — число часов работы за год.

Расчет производится для систем, пригодных к применению, с учетом табл. 1-10.

Выбирается система, обладающая наилучшими экономическими показателями. Если экономические показатели сравниваемых систем близки (расхождение не превышает 15%), то производится дополнительная оценка по массогабаритным показателям и условиям размещения электрооборудования. Ориентировочные показатели массы различных систем управления приведены в табл. 1-12.

Учитывая, что размещение преобразовательных агрегатов или полупроводниковых преобразователей на кранах сопряжено с определенными трудностями, может оказаться необходимым применить систему, не обладающую оптимальными экономическими показателями.

Таблица 1-1

Сравнительные показатели массы электроприводов

Системы крановых электроприводов	Масса 1 кВт мощности, кг, в интервале мощностей электроприводов, кВт					
	2-5	5-12	12-30	30-70	70-150	Свыше 150
Система К—АДФ	30	20	16	20	—	—
Система МК—АДФ	58	35	21	24	18	16
Система МК—АДП	—	42	30	26	—	—
Система Г—Д	—	100	60	52	52	52
Система ТП—Д	—	80	52	36	42	37
Система ПЧН—АДП с диапазоном регулирования 1 : 30—1 : 60	—	65	42	35	—	—
Система ПЧН—АДП с высокими динамическими показателями	—	—	25	20	—	—
Система ТРН—АДФ	—	45	26	28	20	—
Система МК—Д	70	48	38	37	36	35

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

2-1. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МАШИНАМ

а) Общие сведения по крановым электродвигателям

В настоящее время выпускаются крановые электродвигатели следующих серий:

постоянного тока — серия Д (взамен серии ДП);

асинхронные с фазным ротором — серии MTF, МТН (взамен серий МТВ, МТМ);

асинхронные с короткозамкнутым ротором — серии MTKF, МТКН (взамен серий МТКВ, МТКМ).

В крановых электроприводах наиболее широко применяются двигатели переменного тока, которые в количественном отношении составляют около 90%. Двигатели постоянного тока применяются для приводов с большим числом включений в час, широким диапазоном регулирования скорости, с регулированием скорости вверх от номинальной, для работы в системах Г—Д или ТП—Д.

Масса кранового двигателя постоянного тока закрытого исполнения больше массы асинхронного кранового двигателя с наружной самовентиляцией в 2,2—3 раза при одинаковых номинальных моментах (рис. 2-1), а масса меди двигателей постоянного тока примерно в 5 раз больше массы меди двигателей переменного тока. Масса двигателей с короткозамкнутым ротором обычно на 8% меньше, чем двигателей с фазным ротором. Масса двухскоростного двигателя при данном значении вращающего момента примерно на 40% выше односкоростного.

Маховые моменты двигателей удобно сравнивать по показателю $\sqrt{GD^2/M_н}$ (рис. 2-2).

Стоимости единицы массы двигателей различных серий также существенно отличаются между собой и показаны на рис. 2-3. Переход с класса нагревостойкости изоляции F на класс H повышает стоимость двигателя на 20—50%. Стоимость двигателя с фазным ротором в 1,3 раза больше стоимости двигателя с короткозамкнутым ротором при одинаковой мощности (моменте).

Сравнение указанных показателей проводится для следующих серий двигателей: серии Д, ГОСТ 184-71, крановo-металлургические двигатели постоянного тока

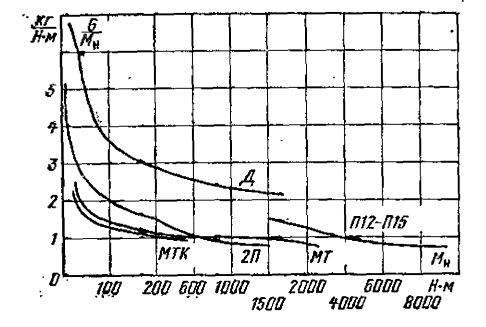


Рис. 2-1. Удельная масса электродвигателей в зависимости от номинального момента при ПВ=40%.

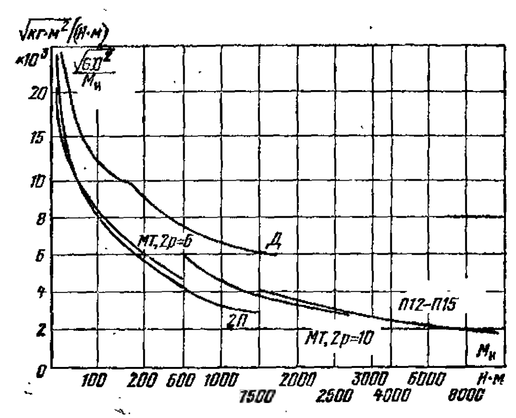


Рис. 2-2. Показатель удельных маховых моментов электродвигателей в зависимости от номинального момента при ПВ=40%.

(рис. 2-4, 2-5); серии 2П, ГОСТ 20529-75, двигатели общего назначения, постоянного тока; серии П, ГОСТ 183-74, двигатели общего назначения, постоянного тока 12—15-го габаритов; серии МТ ГОСТ 185-70, двигатели

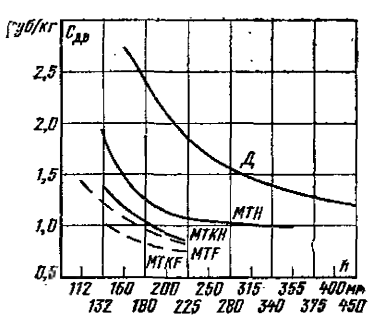


Рис. 2-3. Удельная стоимость электродвигателей в зависимости от высоты оси вращения.

краново-металлургические, асинхронные трехфазного тока (рис. 2-6, 2-7).

Приведенные на рис. 2-1—2-3 кривые показывают преимущество двигателей переменного тока. Однако возможности регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока вверх от номинальной путем увеличения напряжения до $2U_н$ (для крановых двигателей) и ослабления поля главных полюсов, а также значительные допускаемые перегрузки по моменту крановых двигателей постоянного тока обеспечивают им преимущественное перед двигателями переменного тока применение на ряде приводов.

Большое количество асинхронных двигателей малой мощности, имеющих специальное конструктивное исполнение на базе двигателей серий А2, А4 и др., применяется для электрических талей и кран-балок специального исполнения.

Судовые электродвигатели постоянного и переменного тока подробно описаны в [55] и поэтому в данный справочник не вошли.

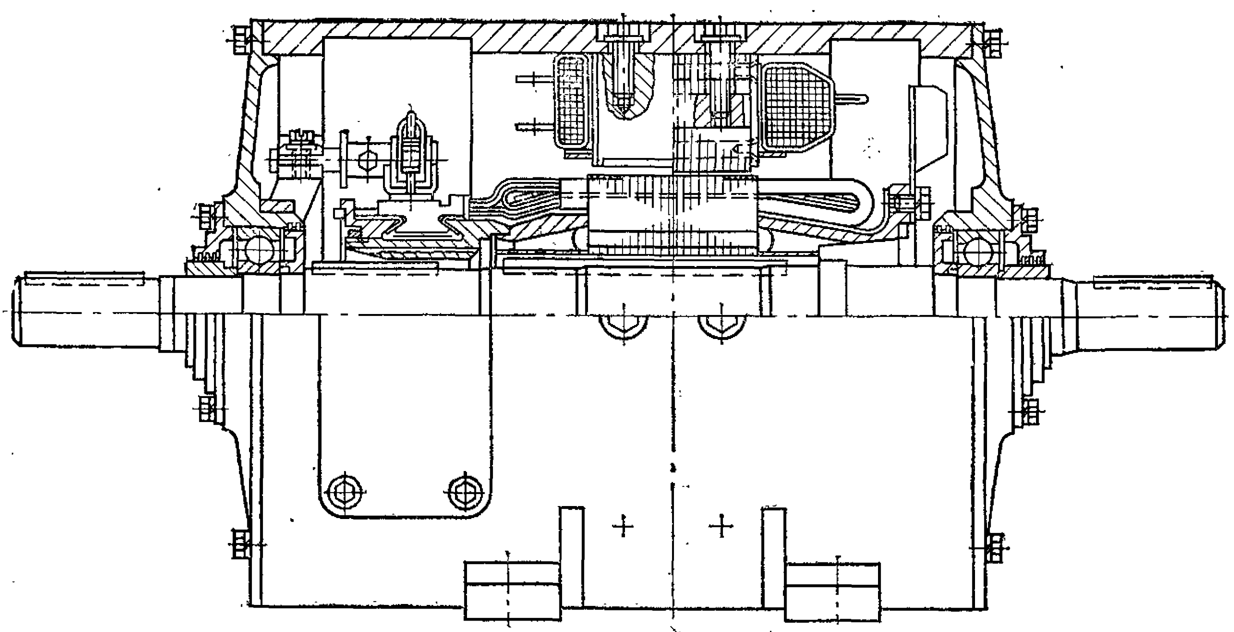


Рис. 2-4. Крановый электродвигатель постоянного тока серии Д с неразъемной станиной.

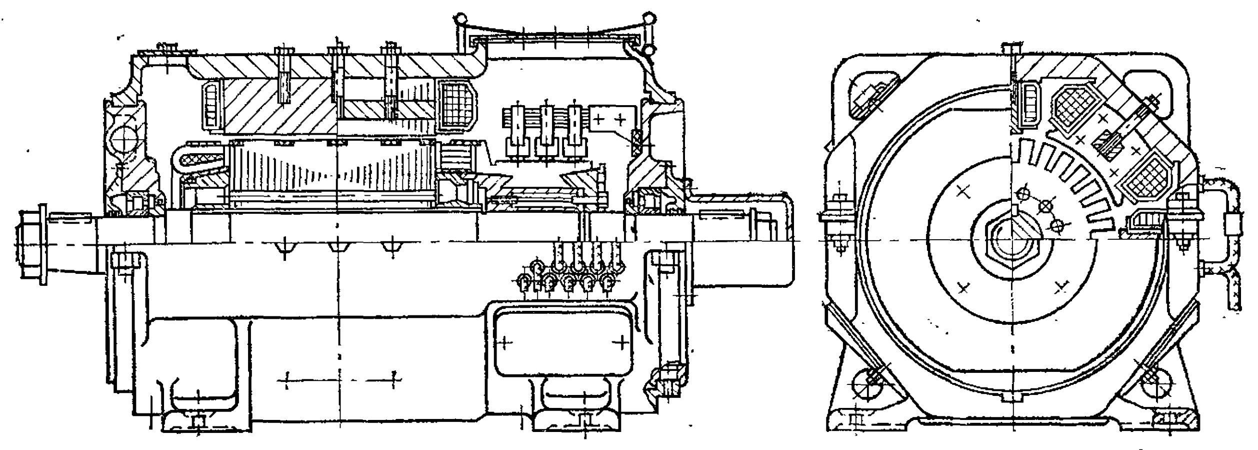


Рис. 2-5. Крановый электродвигатель постоянного тока серии Д с разъемной станиной.

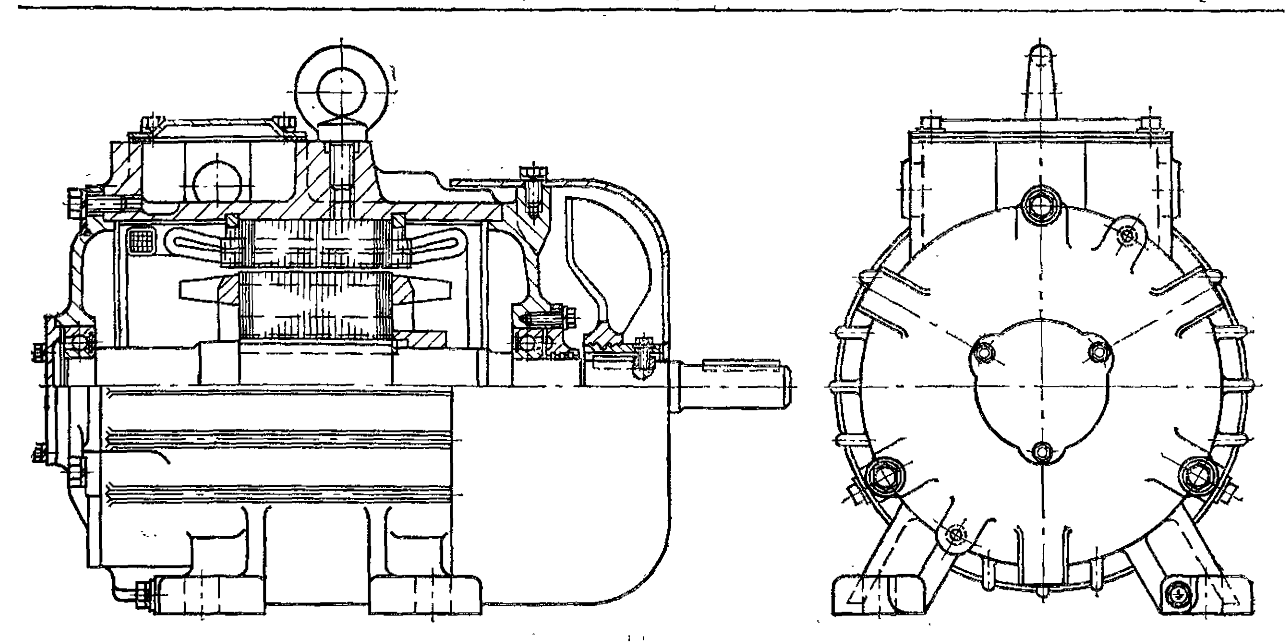


Рис. 2-6. Крановый электродвигатель переменного тока серии MTKF с короткозамкнутым ротором.

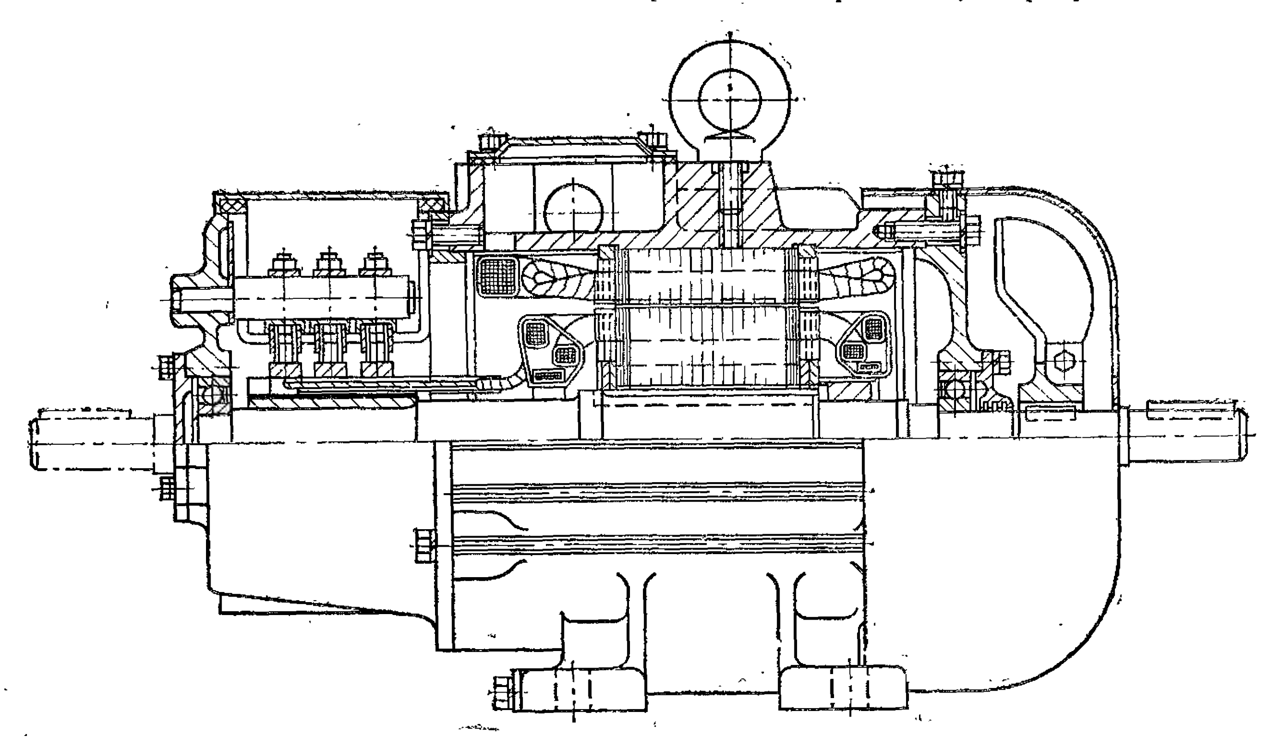


Рис. 2-7. Крановый электродвигатель переменного тока серии MTF с фазным ротором.

б) Технические требования к электрическим машинам

Номинальные данные электрических машин обычно относятся к окружающей температуре до 40° С, а электродвигателей переменного тока серии МТН металлургического исполнения — температуре до 50° С.

Номинальным режимом работы электрической машины называется такой режим, для которого машина предназначена и который указан в ее паспорте.

Продолжительный номинальный режим работы характеризуется временем работы машины, достаточным для достижения практически установившейся температуры всех частей электрической машины при неизменной внешней нагрузке.

Кратковременный номинальный режим характеризуется работой машины при определенной внешней на-

грузке с определенным временем работы, недостаточным для достижения практически установившейся температуры машины, после чего следует электрическое отключение на время, достаточное для охлаждения машины до холодного состояния.

Повторно-кратковременный номинальный режим работы характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью включения ПВ, определяемой по формуле

$$ПВ = \frac{t_р}{t_р + t_{пауз}} 100\%,$$

где $t_р$ — время работы с неизменной номинальной нагрузкой; $t_{пауз}$ — время паузы.

Номинальный режим работы крановой электрической машины должен соответствовать одному из следующих режимов:

1) продолжительному S 1;

2) кратковременному S 2 с длительностью работы при неизменной номинальной нагрузке в течение 10, 30, 60 и 90 мин;

3) повторно-кратковременному S 3 с ПВ 15, 25, 40 и 60% при продолжительности цикла 10 мин.

Номинальные режимы S 1, S 2, S 3 являются основными.

При отклонении напряжения сети от номинального значения допускается отклонение номинальной мощности двигателя в пределах —5÷+10%.

Двигатели переменного тока должны сохранять номинальную мощность при отклонениях частоты переменного тока на ±2,5% номинального значения, а при одновременном отклонении напряжения и частоты от номинальных значений должны сохранять номинальную мощность, если сумма абсолютных процентных значений этих отклонений не превосходит 10% и каждое из отклонений не превышает нормы.

Электрические машины должны выдерживать в течение 2 мин повышение частоты вращения на 20% сверх наибольшей допустимой рабочей частоты вращения (для крановых двигателей на 10%).

Степень искрения электрических машин постоянного тока оценивается по шкале, приведенной в табл. 2-20 и на рис. 2-19. При номинальном режиме степень искрения не должна превышать 1 1/2 балла. Предельно допустимые превышения температуры частей электрических машин указаны в табл. 2-4, которая составлена для машин продолжительного режима работы.

На многих крановых механизмах с кратковременным и повторно-кратковременным режимами работы двигатели нарабатывают менее 10 000 ч за срок службы. В этом случае допустимые превышения температуры могут быть увеличены (см. ГОСТ 183-74).

Изоляция электрических машин относительно корпуса и между обмотками рассчитывается на испытательное напряжение ($2U_н$+1000) В но не менее 1500 В, в том числе: обмотки крановых двигателей постоянного тока 1880 В, обмотки статора крановых двигателей переменного тока 1760 В.

Для обмоток фазного ротора асинхронных двигателей, допускающих торможение противовключением, испытательное напряжение составляет 1000 В плюс четырехкратное номинальное напряжение вторичной обмотки; для двигателей, не предназначенных для торможения противовключением, 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение вторичной обмотки. Время приложения испытательного напряжения частоты 50 Гц 1 мин.

Электрическая прочность междувитковой изоляции проверяется в течение 3 мин напряжением, на 30% превышающим номинальное.

Допустимые отклонения основных показателей электрических машин от номинальных значений указаны в табл. 2-8.

в) Основные особенности крановых электродвигателей

По геометрии активного слоя, степени использования материалов, режимам работы, электромеханическим характеристикам, особенностям теплового режима, конструкции, а также условиям эксплуатации крановые двигатели значительно отличаются от двигателей общепромышленного исполнения.

Крановые электродвигатели обычно работают со значительными перегрузками по отношению к номинальному моменту, при широком диапазоне регулирования частоты вращения, частых пусках и торможениях, в условиях повышенной влажности, запыленности, вибрации и ударов, поэтому конструкции узлов и деталей двигателей отличаются высокой прочностью и надежностью.

Основное исполнение двигателей — закрытое. При этом технически и экономически целесообразно применять изоляционные материалы классов нагревостойкости F и H с допущением повышенных нагревов отдельных частей двигателей согласно ГОСТ 183-74.

Для снижения расхода энергии при переходных процессах маховой момент ротора (якоря) выполняется по возможности минимальным, а номинальная частота вращения двигателей устанавливается относительно небольшой. Двухполюсные крановые двигатели переменного тока не изготавливаются, а мощность четырехполюсных двигателей обычно не превосходит 30 кВт. Для крановых двигателей постоянного тока среднее значение номинальной частоты вращения составляет 700 об/мин (тихоходное исполнение) или 1200 об/мин (быстроходное исполнение).

Для обеспечения большой перегрузочной способности по моменту магнитный поток двигателей относительно велик. В двигателях постоянного тока с учетом продолжительного режима включения обмоток параллельного возбуждения и необходимостью уменьшения размагничивающего действия реакции якоря отношение высоты оси вращения к диаметру якоря равно 0,92—1,05 (меньшие значения — для больших машин). Общая тенденция в электромашиностроении к уменьшению высоты оси вращения двигателей заданной мощности привела к тому, что расстояние между пакетом железа статора и опорной плоскостью лап в двигателях переменного тока составляет только 12—15% высоты оси вращения, а в двигателях постоянного тока поперечная форма станины приближается к квадрату.

Значения кратковременной перегрузки по вращающему моменту для крановых двигателей постоянного тока при номинальном напряжении и при трогании с места и частоте вращения не выше 20% номинальной приведены в табл. 2-21. При этом номинальный момент соответствует часовому режиму.

Для крановых двигателей переменного тока отношение максимального вращающего момента к номинальному указано в табл. 2-39.

Отношение максимально допустимой рабочей частоты вращения к номинальной составляет для двигателей постоянного тока 3,5—4,9; для двигателей переменного тока 2,5. Поэтому к сравнительно тихоходным по номинальной частоте вращения крановым двигателям предъявляются высокие требования по механической прочности и долговечности таких важных узлов, как коллекторы, бандажи обмоток ротора (якоря), пазовые клинья, подшипниковые узлы.

Получение высокой частоты вращения двигателей постоянного тока может достигаться как ослаблением поля, так и повышением напряжения на якоре до двойного номинального. Вместе с другими перечисленными

факторами. это усложняет требования к коммутации двигателей, изоляции токоведущих частей, жесткости конструкции двигателей. При выборе напряжения для катушек параллельного возбуждения учитывается возможность усиления поля, применяемого для двигателей подъема и ряда других механизмов.

В крановых двигателях переменного тока за номинальный режим принят режим с ПВ=40%, а в двига-

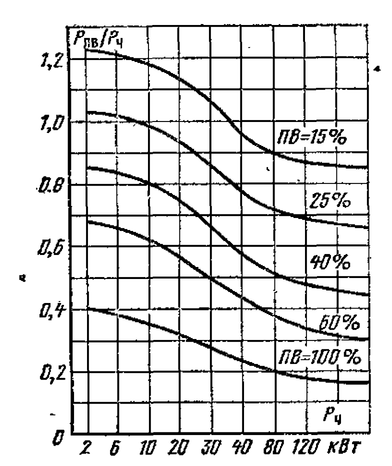


Рис. 2-8. Отношение мощности в повторно-кратковременном режиме (60 мин) к мощности в кратковременном режиме для электродвигателей серии Д в зависимости от номинальной мощности.

телях постоянного тока — режим 60 мин (наряду с режимом ПВ=40%), поскольку часовой режим предъявляет требования к таким важным параметрам двигателя, как максимальный момент, коммутационная способность при перегрузках, работа в кратковременных режимах. При обеспечении заданной перегрузочной способности по моменту в часовом режиме машина постоянного тока обеспечивает повышенное значение максимального момента в повторно-кратковременном режиме при ПВ=40%. Усредненные соотношения мощностей двигателей постоянного тока в режиме 60 мин (1 ч) и при различных значениях ПВ показаны на рис. 2-8.

г) Стандартизация электродвигателей

Двигатели постоянного и переменного тока должны удовлетворять требованиям стандартов на конкретные серии, а во всем неоговоренном — ГОСТ 183-74, который составлен с учетом рекомендаций Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) и Международной электротехнической комиссии (МЭК).

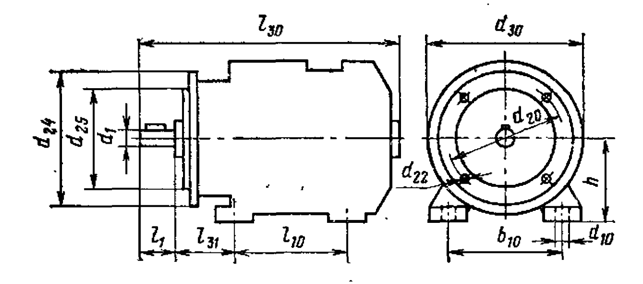


Рис. 2-9. Установочно-присоединительные и габаритные размеры машин.

Таблица 2-1

Габаритные и установочные размеры электродвигателей согласно Публикации 72 МЭК

Номер типоразмера	Размеры, мм				
	h	b_{10}	l_{10}	l_{31}	d_{10}
56 63 71 80	56 63 71 80	90 100 112 125	71 80 90 100	36 40 45 50	6 7 7 10
90S 90L	90	140	100 125	56	10
100S 100L	100	160	112 140	63	12
112S 112M 112L	112	190	114 140 159	70	12
132S 132M 132L	132	216	140 178 203	89	12
160S 160M 160L	160	254	178 210 254	108	15
180S 180M 180L	180	279	203 241 279	121	15
200S 200M 200L	200	318	228 267 305	133	19
225S 225M 225L	225	356	286 311 356	149	19
250S 250M 250L	250	406	311 349 406	168	24
280S 280M 280L	280	457	368 419 457	190	24
315S 315M 315L	315	508	406 457 508	216	28
355S 355M 355L	355	610	500 560 630	254	28
400S 400M 400L	400	686	560 630 710	280	35

В основе многих стандартов лежит Публикация МЭК 72, согласно которой:

1. Установлена шкала номинальных высот оси вращения асинхронных машин 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400 мм.

2. Установочные размеры b_{10}, l_{10}, l_{31}, d_{10} асинхронных машин привязаны к высоте оси вращения h вне зависимости от мощности машины (рис. 2-9). Для каждой высоты оси вращения принято три значения

Таблица 2-2

Размеры конца вала согласно Публикации 72 МЭК

Размеры конца вала, мм	d_1	7	9	11	14	16	18	19	22	24	28	32	38	42	48	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110
	l_1	16	20	23	30	40	40	40	50	50	60	80	80	110	110	110	140	140	140	140	170	170	170	170	210	210
Наибольший вращающий момент при продолжительном режиме работы, Н·м	$M_{макс}$	0,25	0,63	1,25	2,8	4,5	7,1	8,25	14	18	31,5	50	90	125	200	355	450	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	2800	4000

размера l_{10}, соответствующих трем длинам станины: S — для коротких, M — для средних, L — для длинных машин (табл. 2-1).

3. Размеры d_1 и l_1 свободного конца вала выбраны в зависимости от наибольшего вращающего момента для продолжительного режима работы двигателя переменного тока (табл. 2-2).

4. Введена единая шкала значений номинальной мощности электродвигателей по первичному предпочтительному ряду: 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,7; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 150; 160; 185; 200; 220; 250 кВт. Вторичный предпочтительный ряд: 1,8; 3; 4; 6,3; 10; 13; 17; 20; 25; 33; 40; 50; 63; 80; 100; 125 кВт — может использоваться в случае особой необходимости.

5. Изготовитель может выбирать установочные размеры для асинхронных машин как основу для разработки серий машин других типов, если нет других рекомендаций.

При создании новых серий машин, в том числе постоянного тока, большинство изготовителей принимают во внимание рекомендации МЭК.

ГОСТ 18709-73 на установочно-присоединительные размеры распространяется на высоты оси вращения 56... ..., 355, 400 мм и учитывает Публикации МЭК 72 и рекомендации СЭВ по стандартизации РС 3030-71, а ГОСТ 20839-75 распространяется на высоты оси вращения от 450 до 1000 мм.

Таблица 2-3

Размеры крепительных фланцев

Высота оси вращения h, мм	Диаметр фланца, мм			Отверстия для болтов	
	по отверстиям для болтов d_{20}	по замку d_{26}	внешний d_{24}	Число отверстий	Диаметр d_{22}, мм
90 100	215	180	250	4	15
112	265	230	300	4	15
132 160	300	250	350	4	19
180	350	300	400	4	19
200	400	350	450	8	19
225 250	500	450	550	8	19
280 315	600	550	660	8	24
355 400	740	680	800	8	24

ГОСТ 13267-73 продолжает шкалу номинальных высот оси вращения значениями: 450, 475, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000 мм.

Размеры крепительных фланцев по рекомендациям МЭК, рекомендациям РС 3030-71 и ГОСТ 18709-73 совпадают и приведены для ограниченного диапазона значений h в табл. 2-3. Привязка размеров h к размерам фланца дана для комбинированного крепления машины — на фланце и лапах.

Цилиндрические и конические концы валов выбираются соответственно по ГОСТ 12080-66 и ГОСТ 12081-72. В зарубежных стандартах по-разному подходят к выбору формы концов валов. Стандарт DIN 42681, ФРГ, на двигатели переменного тока для повторно-кратковременных режимов работы предусматривает только цилиндрические концы валов по МЭК 72. По стандарту AISE, США, для металлургических двигателей постоянного тока принимаются только конические концы валов. Более рационально построены отечественные стандарты на крановые двигатели, в которых цилиндрические концы валов применяются для диаметра до 50 мм включительно и номинальных моментов до 200 Н·м, а начиная с диаметров 65 мм — конические концы валов. Двигатели общего применения имеют, как правило, цилиндрические концы валов.

Ряд номинальных мощностей по ГОСТ 12139-74 несколько отличается в начальной части диапазона от первичного ряда МЭК 72 и имеет 2,2; 3,0; 4,0; 5,5 кВт и т. д., а для больших мощностей предусматривает 132, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 кВт и далее до 10 000 кВт. Для крановo-металлургических двигателей ГОСТ 12139-74 является рекомендуемым.

Номинальные частоты вращения и допускаемые отклонения устанавливаются для рассматриваемых двигателей ГОСТ 10683-73, кроме двигателей по ГОСТ 184-71.

Для двигателей постоянного тока номинальные значения частот вращения равны: 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 750, 1000, 1500, 2000, 2200, 3000, 4000 об/мин и более.

Двигатели постоянного тока мощностью 110 кВт и выше, предназначенные для привода механизмов, требующих широкого регулирования частоты вращения, должны иметь номинальную частоту вращения согласно следующему ряду (нерекомендуемые значения указаны в скобках): ... 63, (71), 80, (90), 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 об/мин. Наибольшие частоты вращения двигателей постоянного тока также выбираются из вышеприведенных значений.

Синхронная частота вращения асинхронных двигателей однозначно определяется частотой питающего тока и числом пар полюсов и для частоты 50 Гц составля-

Таблица 2-4

Допустимые превышения температуры частей электрических машин, °С

№ п/п	Часть машины	Нормативный документ	Класс нагревостойкости изоляции			
			E	B	F	H
1	Обмотка якоря	ГОСТ 183-74 ГОСТ 184-71	75 —	80 —	100 —	125 120
2	Обмотки возбуждения машин постоянного тока, компенсационные обмотки	ГОСТ 183-74 ГОСТ 184-71	75 —	80 —	100 —	125 120
3	Обмотки машин переменного тока	ГОСТ 183-74 ГОСТ 185-70	75 —	80 —	100 105	125 120
4	Стержневая обмотка ротора асинхронных машин	ГОСТ 183-74	80	90	110	135
5	Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с изолированными обмотками	ГОСТ 183-74	75	80	90	100
6	Коллекторы и контактные кольца	ГОСТ 183-74 ГОСТ 184-71 ГОСТ 185-70	70 — —	80 — —	90 — 95	100 110 105

ет ряд: ... 187,5; 250; 300; 375; 500; 600; 750; 1000; 1500; 3000 об/мин.

Допустимые превышения температуры машин с воздушным охлаждением приведены в табл. 2-4. Измерения превышений температуры в п. 1—4 — методом сопротивления, а в п. 5, 6 методом термометра. Для кратковременных номинальных режимов работы допустимые превышения температуры частей машины могут быть выше указанных значений на 10° С. Для коллекторов и контактных колец превышения температур могут быть также увеличены, если нагрев их изоляции и связанных с ними обмоток удовлетворяет требованиям табл. 2-4, повышение температуры не ухудшит коммутацию, повышенная температура не опасна для паек соединений, а твердость материала коллектора или колец сохраняется при воздействии повышенных температур.

По методу термометра превышение температуры наиболее нагретой доступной точки не должно превышать 80, 90, 110 и 135° С соответственно для изоляции классов E, B, F и H.

Температура подшипников качения не должна превышать 100° С, а для крановых двигателей с классом изоляции H и с нагревостойкой смазкой (типа ЦИАТИМ-221 или ВНИИНП-220) 120° С. Дальнейшее

Таблица 2-5

Методы охлаждения электрических машин

Условное обозначение	Схема метода охлаждения	Краткое обозначение первой и второй цифр	Определение
IC00		Свободная циркуляция. Свободная конвекция	Полностью закрытая машина с охлаждаемым корпусом, без наружного вентилятора
IC16		Вентиляция с помощью входной трубы. Независимое вентиляционное устройство, установленное на машине	Открытая машина, охлаждаемая вентилятором с приводным двигателем, установленным на машине
IC37		Вентиляция с помощью входной и выходной труб. Независимое отдельное устройство подачи хладоагента	Открытая машина, охлаждается вентилятором с приводным двигателем, не установленным на машине
IC41 или IC4		Охлаждение внешней поверхности электрической машины. Самовентиляция	Полностью закрытая машина, охлаждаемая вентилятором, с плоским или ребристым корпусом. Вентилятор на роторе
IC51 или IC5		Встроенный охладитель, использующий окружающую среду. Самовентиляция	Полностью закрытая машина, корпус с трубками; внутренний и внешний вентиляторы

повышение рабочей температуры требует применения подшипников со специальной термообработкой.

Методы охлаждения обозначаются согласно публикации 34-6 МЭК двумя буквами IC с двумя характеристическими цифрами. Первая цифра обозначает устройство системы охлаждения, а вторая — способ подвода энергии для циркуляции хладоагента — воздуха. Наиболее распространенные методы охлаждения крановых машин представлены в табл. 2-5. Когда подвод энергии, необходимой для подачи хладоагента, соответствует характеристической цифре 1 (самовентилирующее устройство, устанавливаемое на валу), то можно проставлять только первую характеристическую цифру.

Степень защиты оболочек электрических машин от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри машины, и попадания твердых посторонних тел внутрь машины и степени защиты от проникновения воды внутрь машины устанавливается ГОСТ 17494-72, который учитывает рекомендации Публикации МЭК 34-5.

В табл. 2-6 степени защиты, применяемые в крановых двигателях, выделены, а наиболее часто применяемые степени защиты согласно Публикации МЭК 34-5 — дополнительно подчеркнуты. В новых сериях машин степень защиты клеммовых коробок обычно повышена. Например, для двигателя со степенью защиты IP44 клеммовые коробки выполняются со степенью защиты IP54 или IP55. Для машин со степенью защиты IP43 и выше, имеющих насаженный на конец вала внешний вентилятор, степень защиты кожуха не должна быть менее IP20. Сливные отверстия в корпусе машины со степенью защиты IP44 не должны иметь степень защиты менее IP23.

Таблица 2-6

Степени защиты электрических машин

Степень защиты персонала от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды						
	0	1	2	3	4	5	6
0	IP00	IP01	—	—	—	—	—
1	IP10	**IP11**	IP12	IP13	—	—	—
2	**IP20**	**IP21**	**IP22**	**IP23**	—	—	—
3	—	—	—	IP43	**IP44**	—	—
4	—	—	—	—	**IP54**	IP55	IP56

По способу монтажа на механизме или фундаменте машины могут иметь основные монтажные исполнения, показанные в табл. 2-7. Машины, имеющие в условном обозначении третью цифру 0, могут работать в любом положении (графического условного изображения не имеют). К условным обозначениям формы исполнения машины прибавляют обозначения формы конца вала: цилиндрического — Z, конического — K, фланцевого — F (см. ГОСТ 2479-65).

д) Допускаемые отклонения от номинальных значений параметров электродвигателей

Допуски на высоту оси вращения, на отверстия и их расположение в лапах для крепления электрических машин, на выступающий конец вала, на сопрягаемые

Таблица 2-7

Основные исполнения электрических машин по способу монтажа

Условное обозначение по ГОСТ 2479-65	Обозначение ряда зарубежных машин	Схематическое изображение машин	Особенности монтажа	Область применения (обозначение серии машин)
M101	B3		На лапах для крепления к полу, ось вращения горизонтальная	Д, 2П, МТ, 4А
M100	—	—	На лапах для крепления к плоскости любого положения — полу, стенке, потолку, наклонной стенке	4А
M201	B3/B5		На большом фланце к вертикальной стенке или на лапах к полу. Ось вращения вала горизонтальная	Д, 2П, МТ, 4А
M302	V5/V1		На большом фланце к полу или на лапах к вертикальной стенке, ось вращения вала вертикальная, фланец и конец вала внизу	Д, МТ
M302	V1		На большом фланце к полу, ось вращения вала вертикальная, фланец и конец вала внизу	Д, 4А

Таблица 2-8

Допускаемые отклонения показателей машин от номинальных значений

№ п/п	Параметр	Допускаемое отклонение
1	Коэффициент полезного действия (η)*, определенный методом отдельных потерь:	
	машины до 50 кВт	—0,15(1—η)
	машины свыше 50 кВт	—0,10(1—η)
	определенный методом непосредственной нагрузки	—0,15(1—η)
2	Общие потери для машин мощностью свыше 50 кВт	+10% полных потерь
3	Коэффициент мощности (cos φ) асинхронных двигателей**	$-\frac{1-\cos\varphi}{6}$, но не менее 0,02 и не более 0,07 по абсолютному значению
4	Частота вращения двигателей постоянного тока (при номинальной нагрузке и рабочей температуре):	При отношении номинальной мощности, Вт, к номинальной частоте вращения, об/мин:
	а) с параллельным и независимым возбуждением	менее 0,67 . . . . . . ±15% от 0,67 до 2,5 . . . . . ±10% от 2,5 до 10 . . . . . . ±7,5% 10 и более . . . . . . ±5%
	б) с последовательным возбуждением, включая исполнение с небольшой параллельной стабилизирующей обмоткой	не менее 0,67 . . . . . ±20% от 0,67 до 2,5 . . . . . ±15% от 2,5 до 10 . . . . . ±10% 10 и более . . . . . . ±7,5%
	в) со смешанным возбужденнем	Выбирается между указанными в п. 4 «а» и «б» по согласованию между изготовителем и потребителем
5	Скольжение асинхронных двигателей (при номинальной нагрузке и рабочей температуре)	±20% номинального значения, знак — относится только к двигателям с повышенным скольжением
6	Изменение напряжения генераторов постоянного тока	±20%, но не менее 2% номинального напряжения
7	Начальный пусковой ток асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (и оговоренными пусковыми устройствами)	+20% (нижнего предела нет)
8	Изменение частоты вращения двигателей постоянного тока с параллельным или смешанным возбуждением	±20%, но не менее ±2% номинальной частоты вращения
9	Начальный пусковой вращающий момент асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором	—15%
10	Максимальный вращающий момент двигателей переменного тока	—10%
11	Минимальный вращающий момент в процессе пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором	—20% (в стандартах или ТУ на отдельные виды машин допускается устанавливать дополнительно нижние предельные наименьшие значения минимального вращающего момента)
12	Момент инерции	±10%

* С округлением отклонений до третьей значащей цифры.

** Допускается значение измеренного cos φ меньше на 0,02 по сравнению с нижним пределом при условии, что произведение η cos φ машины не ниже произведения установленных значений этих параметров с учетом допускаемых отклонений.

размеры крепительного фланца, отверстия и их расположение на крепительном фланце назначаются по ГОСТ 8592-71 для нормальной точности исполнения. Допускаемые отклонения от номинальных значений параметров машин должны быть не выше значений, указанных в ГОСТ 183-74 (табл. 2-8).

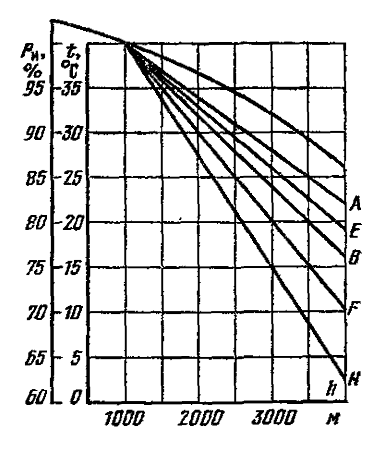


Рис. 2-10. Зависимость номинальной мощности и допустимой температуры окружающей среды (для сохранения номинальной мощности машин) от высоты над уровнем моря для различных классов нагревостойкости изоляции.

Мощность и допустимое превышение температуры машин указываются при температуре охлаждающей среды 40° С и высоте до 1000 м над уровнем моря. При увеличении высоты выше 1000 м необходимо снижать номинальную мощность либо понижать температуру охлаждающей среды при сохранении номинальной

мощности согласно рис. 2-10. Графики построены в зависимости от класса нагревостойкости изоляции для машин продолжительного режима работы по нормам ГОСТ 183-74 и с учетом рекомендаций Публикации МЭК 34-1.

При работе с ПВ=40% можно пользоваться кривой, расположенной выше на один класс (мощность относительно растет за счет использования собственной теплоемкости машины). Для кратковременного режима работы 30 мин сдвиг вверх допускается на два класса. Для кратковременных режимов работы длительностью 2—10 мин рекомендуется верхняя кривая на рис. 2-10, при этом вопрос коммутации машин постоянного тока подлежит опытной проверке.

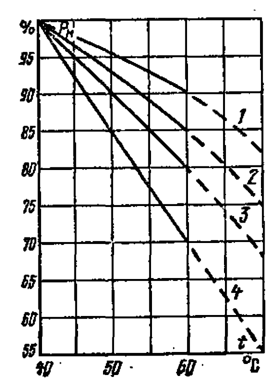


Рис. 2-11. Изменение номинальной мощности электродвигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха.

1 — двигатель постоянного тока параллельного возбуждения, классы изоляции F, H; 2 — двигатель продолжительного режима работы переменного тока и постоянного тока последовательного возбуждения, классы изоляции B, F, H; 3 — двигатель кратковременного режима работы постоянного тока параллельного возбуждения, классы изоляции F, H; 4 — двигатель кратковременного режима работы переменного тока и постоянного тока последовательного возбуждения, классы изоляции F, H.

При температуре охлаждающего воздуха выше 40° С (но не более 60° С) предельно допускаемые превышения температуры, указанные в табл. 2-4, уменьшаются на разность между температурой охлаждающей среды и температурой 40° С для всех классов изоляционных материалов. Снижение номинальной мощности двигателей при этом ориентировочно можно определить по кривым на рис. 2-11. При температуре охлаждающего воздуха выше 60° С допускаемые превышения температуры и снижение мощности двигателей согласовываются с предприятием-изготовителем (пунктирная часть кривых на рис. 2-11).

Допускаемые отклонения сопротивлений обмоток якорей, роторов и статоров, полюсных катушек и катушек тормозов от номинальных значений составляют: ±6% — для прямоугольной меди и круглой меди с диаметром d более 1,7 мм; ±7% — для d=0,7÷1,6 мм; ±8% — для $d \leqslant 0,63$ мм.

За номинальное сопротивление обмоток и катушек принимается сопротивление при 20° С. Измерение сопротивлений производится при практически холодном состоянии обмоток (катушек), т. е. при температуре обмоток (катушек), близкой к температуре окружающего воздуха. При отклонении температуры воздуха от 20° С кроме указанных допусков надо учитывать изменение сопротивлений на ±1% на каждые ±2,5° С отклонения температуры воздуха от 20° С.

Допускаемые отклонения сопротивлений могут быть увеличены до ±10% при следующих условиях:

1) если точно известно, что данная обмотка (катушка) намотана из надлежащей меди с требуемым числом витков;

2) если при испытании обмоток (катушек) на витковое замыкание не обнаружено дефектов.

Разница между сопротивлениями отдельных фаз статора (или ротора) не должна превышать 2%.

2-2. КОНСТРУКЦИЯ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

а) Особенности конструкции крановых электродвигателей постоянного тока

Станина двигателей (см. рис. 2-4 и 2-5) выполняется стальной сварной или литой. Конфигурация литых станин в поперечном сечении приближается к квадрату для лучшего использования внутреннего объема двигателя. Литые станины разъемные, верхняя и нижняя половины соединены четырьмя болтами. Стык между полустанинами защищен от коррозии смазкой либо краской. Зазор между полустанинами достаточно мал и может не учитываться в качестве отдельного участка магнитопровода при расчете магнитной цепи. Для двигателей с компенсационной обмоткой разъемная станина практически не делается. Из соображений техники безопасности каждое подъемное ухо станины должно выдерживать с большим запасом полную массу двигателя; допустимое напряжение растяжения от радиальной нагрузки находится в пределах 170—240 МПа. Фланец вертикальных двигателей отливается заодно со станиной либо приваривается к сварной станине.

Сердечник главного полюса набирается из штампованных листов (Ст. 2) толщиной 1,5—2 мм. Центральный стальной стержень придает сердечнику жесткость и служит для крепления сердечника к станине. Ширина стержня составляет около 30% ширины сердечника полюса. Число крепящих шпилек — от двух до трех на один полюс, шаг между ними составляет около 0,3 диаметра якоря. Листы сердечника скрепляются в осевом направлении четырьмя-пятью заклепками, усилие спрессовки сердечника с заклепками определяют исходя из удельного давления 3—4 МПа. Иногда применяют вместо заклепок сварку листов между собой.

Сердечник добавочного полюса изготавливается из сплошной литой или кованой заготовки, иногда из толстолистовой стали с привернутым наконечником или со штыревыми выступами для удержания катушки. Применяются также шихтованные в поперечном направлении и склепанные сердечники, особенно в двигателях для систем с питанием от тиристорных преобразователей. Диаметр крепящего сердечник болта берется максимально возможным, составляющим около 75% ширины сердечника. Шаг между болтами обычно такой же, как у шпилек главного полюса.

Болты и шпильки крепления главных и добавочных полюсов — из стали марки 45, рассчитываются на восприятие механических и электромагнитных нагрузок на полюсы с катушками.

Ускорение, м/с², от механических воздействий определяется по формуле

$$a = (5 + 1000/G)\,g,$$

где G — масса двигателя, кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; g=10 м/с². Принимают $a \leqslant 150$ м/с², при этом запас прочности болтов по пределу текучести около 2.

Катушки полюсов наматываются из изолированного или неизолированного медного провода с асбестовой изоляцией между витками. Неровности на поверхности катушки заполняются изоляционной замазкой для улучшения теплоотдачи и лучшей сохранности наружной изоляции. Пайка выводов катушек производится твердым припоем типа ПМФ, пропитка катушек — вакуумно-нагнетательным способом.

Суммарная сила прижатия катушки фланцами должна примерно в 10 раз превосходить силу тяжести катушки.

Стабилизирующая обмотка либо встраивается в катушку параллельного возбуждения (двигатели Д12—Д41), либо выполняется кабелем, намотанным поверх катушки (двигатели Д806—Д818). В последнем случае достигается унификация катушек и несколько улучшается теплоотвод от катушек. Специального закрепления кабеля не требуется, так как он расположен в V-образном междукатушечном пространстве.

Сердечник якоря изготавливается из штампованных листов электротехнической горячекатаной стали марки 1213 (Э13) с двойной лакировкой или холоднокатаной стали марки 2013 (ЭО300) с оксидным покрытием и однократной лакировкой. Надежная передача крутящего момента осуществляется путем тугой посадки листов на вал. Особо важно выполнить монолитными крайние листы сердечника за счет склейки клеем БФ-2 или приме-

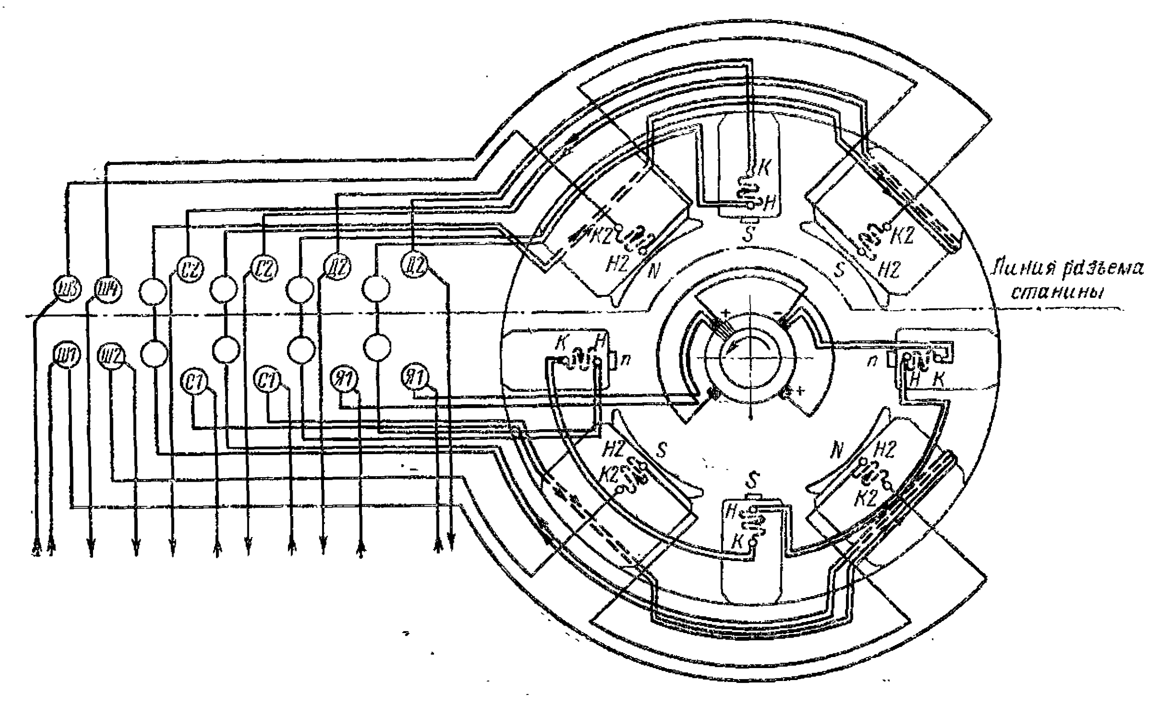


Рис. 2-12. Схема соединения обмоток электродвигателей Д814—Д818 (на напряжение 220 В, параллельного возбуждения, со стабилизирующей обмоткой) при выполнении выводных концов (кроме *Ш1—Ш4*) двумя параллельно включенными кабелями.

Схемы включения полюсных катушек и якоря зависят от вида возбуждения двигателя, конструкции станины (разъемной или неразъемной), числа щеткодержателей. На рис. 2-12 приведен пример схемы соединения обмоток. На схеме приняты обозначения:

*Я*1, *Я*2 — выводные концы обмотки якоря;
*Д*1, *Д*2 — выводные концы обмоток добавочных полюсов;
*С*1, *С*2 — выводные концы последовательных обмоток возбуждения или стабилизирующих обмоток;
*Ш*1—*Ш*4 — выводные концы обмоток параллельного возбуждения;
Н и *К* — начало и конец обмотки добавочного полюса;
*Н*1 и *К*1 — начало и конец последовательной обмотки возбуждения;
*Н*2 и *К*2 — начало и конец обмотки параллельного возбуждения;
N и *S* — сердечник северного и южного главного полюса;
n и *s* — сердечник северного и южного добавочного полюса;
○ — без обозначения, разъемное соединение между верхней и нижней частью индуктора (при разъемной станине).

нения утолщенных крайних листов. Лучшим решением является сварка пакета крайних листов в среде нейтрального газа.

Нажимные шайбы якоря литые из стали марки 25Л передают частично крутящий момент двигателя, воспринимают инерционные нагрузки от лобовых частей обмоток и осевые нагрузки от сил спрессовки сердечника, достигающие 1500 кН. Поэтому нажимные шайбы должны быть достаточно жесткими и прочными, суммарная ширина ребер между внутренней и наружной втулками шайбы составляет 5—10% длины окружности якоря.

Обмотка якоря выполняется волновой до габарита Д814 и лягушачьей, в том числе ступенчатой, для габаритов Д816—Д818. Петлевая обмотка в отечественных крановых двигателях не применяется, так как при этом требуется более высокая коллекторная пластина под уравнительные соединения и возникают затруднения при пайке или сварке уравнителей. Перспективным является применение прямоугольных эмалированных проводов марки ПЭТП-200 и других вместо проводов марки ПСДКТ.

Бандажи обмотки якоря из стальной бандажной проволоки диаметром до 2 мм заменяются в последнее время на стеклобандажную ленту марки ЛСБ-Н.

Для стеклобандажной ленты толщиной 0,2 мм допустимое усиление натяжения составляет 600 Н на 10 мм ширины ленты.

Клиновое крепление пазовой части обмотки якоря обычно не применяется, так как клин требует большей глубины паза якоря и несколько ухудшает теплоотвод с поверхности якоря.

Коллектор с корпусом из пластмассы марки АГ-4С и армирующими стальными кольцами применяется до диаметра 215 мм, а при больших диаметрах переходят на сборные коллекторы с манжетами. Торцевой стык между пластмассой и медью коллекторных пластин закрывают стеклобандажной лентой во избежание замыкания между пластинами в эксплуатации. Испытательная частота вращения коллекторов $n_к$ при заданной максимальной рабочей частоте вращения двигателя $n_{макс}$ равна $n_к = 1,30 n_{макс}$ — для коллекторов на пластмассе; $n_к = 1,15 n_{макс}$ — для коллекторов на манжетах.

Соединение обмотки якоря с коллектором проводится либо пайкой тугоплавким припоем ПСр2,5, либо электросваркой в среде инертного газа. Метод сварки путем последовательного обхода всех пластин по спирали, когда отдельный петушок испытывает только кратковременный точечный нагрев, обеспечивает высокую надежность сварного соединения, сохранение межламельной изоляции и твердости коллекторной меди.

Балансировка якоря ведется без шпонки на конце вала, обычно путем приварки балансировочных грузов, что обеспечивает достаточную точность балансировки относительно тихоходных крановых двигателей. Данные по балансировке якорей двигателей серии Д приведены в табл. 2-9 (Д814—Д818 балансируются статически).

Таблица 2-9

Параметры, связанные с вибрацией электродвигателей серии Д

Тип двигателя	Диаметр якоря, мм	Длина сердечника якоря, мм	Масса якоря, кг	Допустимая* остаточная неуравновешенность в одной плоскости исправления нового якоря, г·см	Класс вибрации двигателя по ГОСТ 16921-71
Д12	130	150	25	15	4,5
Д21	167	120	48	30	4,5
Д22	167	165	54	40	4,5
Д31	210	125	80	60	7,0
Д32	210	195	102	75	7,0
Д41	245	190	150	120	7,0
Д806	245	275	165	135	7,0
Д808	280	320	230	150	7,0
Д810	327	280	345	280	7,0
Д812	368	315	510	500	7,0
Д814	393	420	660	700	11,0*
Д816	423	480	950	1000	11,0*
Д818	493	480	1150	1400	11,0*

* Факультативные данные.

Вентилятор можно использовать как деталь для крепления балансировочного груза. Вентилятор-мешалка в закрытом двигателе снижает нагрев якоря лишь на 5—7° С, а полюсных катушек на 3—5° С, поэтому в ряде новых серий вентилятор отсутствует. Двигатель без вентилятора можно продувать воздухом в любом направлении.

Щеткодержатели литые, куркового типа, имеют окна для свободного перемещения щеток с суммарным зазором 0,05—0,31 мм в тангенциальном направлении и 0,06—0,55 мм в осевом направлении.

Удельное давление на щетку марки ЭГ-14 равно $25—30 \cdot 10^3$ Па, марки 611 ОМ—$12 \div 22 \cdot 10^3$ Па.

Сведения о щетках двигателей серии Д приведены в табл. 2-10 для двух исполнений двигателей по напряжению: 220 В и 440 В. В графе «номинальное нажатие» первая цифра — номинальное нажатие для новой, вторая цифра — номинальное нажатие для изношенной щетки. Перспективны щеткодержатели с рулонной пружиной постоянного нажатия.

Таблица 2-10

Щетки для электродвигателей серии Д

Тип двигателя	Количество щеток на двигатель		Размер щеток, мм		Номинальное нажатие на щетку, Н	
	220 В	440 В	220 В	440 В	220 В	440 В
Д12	4	—	10×16×25	—	3—4	—
Д21	2	2	12,5×32×40	12,5×32×40	8—9	8—9
Д22	4	4	12,5×32×40	12,5×32×40	8—9	8—9
Д31	4	4	12,5×32×40	12,5×32×40	8—9	8—9
Д32	4	4	16×32×40	16×32×40	8—9	8—9
Д41	8	8	16×32×40	16×32×40	11—14	11—14
Д806	8	8	16×32×40	16×32×40	11—14	11—14
Д808	8	8	20×32×40*	16×32×40	15—16	15—16
Д810	12	12	20×32×40	20×32×40	16—15	16—15
Д812	8	8	25×50×64	12,5×50×64	35—25	16—12
Д814	12	12	25×50×64	12,5×50×64	35—25	16—12
Д816	12	12	25×50×64	12,5×50×64	35—25	16—12
Д818	16	16	25×50×64	12,5×50×64	35—25	16—12

* Возможно применение щеток 16×32×40.

б) Особенности конструкции крановых электродвигателей переменного тока

Станина двигателей серии МТ отливается из чугуна марки 25Л с ребрами для лучшего охлаждения двигателя, с расположенной наверху клеммовой коробкой и двумя отверстиями в нижней части станины (с двух сторон пакета статора) для слива конденсата. В двигателях новой серии МТ112, МТ132 и МТ160 станины одинаковы для двух длин пакета статора, глубокий подшипниковый щит отсутствует и коллекторный люк выполняется в станине. Таким образом, станина унифицирована для четырех исполнений каждого габарита двигателей: с фазным и короткозамкнутым ротором, с коротким и длинным пакетами статора.

Сердечник статора избирается из штампованных листов электротехнической горячекатаной лакированной стали марки 1213 (Э13) толщиной 0,5 мм, на малых габаритах для $h \leqslant 132$ мм применяется сталь толщиной 1,0 мм. В двигателях новой серии МТ и в модернизированных двигателях старой серии MTF (Н) применена холоднокатаная электротехническая сталь марок 2011 или 2013 (Э0100 или Э0300) толщиной 0,5 мм, оксидированная или без дополнительного покрытия на малых габаритах.

Сердечник ротора имеет относительно небольшие потери в стали, поэтому листы фазных роторов обычно не лакируются. Обязательно применение шпоночного соединения с валом ротора. В осевом направлении пакет запирается втулкой, стальной или металлокерамической. Применение холоднокатаной электротехнической стали уменьшает возможность изгиба вала после насадки ротора, увеличивает на 3—4% коэффициент заполнения сталью пакета.

Обмотку статора для двигателей с $h \leqslant 250$ мм возможно вести механизированным способом при использовании изоляции необходимой механической прочности типа пленкосинтокартон и эмалированного провода типа ПЭТ200М, способного переносить большое удлинение без повреждения эмали. Двигатели МТ355 (седьмого габарита) имеют жесткие формованные катушки статора, закладываемые в открытые пазы. На остальных двигателях пазы полузакрытые.

Обмотка ротора двигателей малой мощности требует особых мер по закреплению лобовых частей. Под внутренним диаметром лобовых частей располагают изолированное стальное кольцо либо кольцо из стеклопластика, к которому лобовые части привязываются стеклобандажной лентой. При наличии обмоткодержателей применяют также стеклобандажи. В пазовой части обмотка закрепляется клином из профильного стеклопластика. Стержневая обмотка ротора применяется на двигателях МТ355.

Для закрепления лобовых частей стержневой обмотки ротора предпочтительно применение стеклобандажной ленты, которая накладывается почти по всей ширине лобовых частей и исключает отгиб головок при высокой частоте вращения.

Данные по отдельным геометрическим размерам статора и ротора двигателей МТ старой и новой серий приведены в табл. 2-11. Пакет статора с обмоткой двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором унифицирован. «Просвет» между низом сердечника и опорной плоскостью лап составляет около 15% высоты оси вращения.

Таблица 2-11

Геометрические размеры частей электродвигателей серии МТ

Исполнение двигателя	Внешний диаметр листа статора D, мм	Внутренний диаметр листа статора, мм	Номинальный воздушный зазор, мм	Число пазов статора/ротора	Длина пакета, мм: статора	Длина пакета, мм: ротора	Размер $h-\frac{D}{2}$, мм
MTF011-6	182	127	0,35	45/36	85	85	21,0
MTF012-6	182	127	0,35	45/36	120	120	21,0
MTF111-6	210	148	0,40	36/27	115	115	27,0
MTF112-6	210	148	0,40	36/27	155	155	27,0
MTF211-6	245	170	0,45	36/27	150	150	37,5
MTF311-6	280	200	0,50	54/36	156	156	40,0
MTF312-6	280	200	0,50	54/36	240	240	40,0
MTF411-6	327	235	0,55	54/36	205	205	61,5
MTF412-6	327	235	0,55	54/36	280	280	61,5
MTH512-6	368	260	0,60	72/54	340	345	66,0
MTH611-6	493	360	0,75	72/90	220	225	68,5
MTH612-6	493	360	0,75	72/90	300	305	68,5
MTH613-6	493	360	0,75	72/90	390	395	68,5
MTF311-8	280	210	0,50	48/36	156	156	40,0
MTF312-8	280	210	0,50	48/36	240	240	40,0
MTF411-8	327	240	0,55	72/48	205	205	61,5
MTF412-8	327	240	0,55	72/48	280	280	61,5
MTH511-8	368	270	0,60	72/48	260	265	66,0
MTH512-8	368	270	0,60	72/48	360	365	66,0
MTH611-10	493	372	0,80	75/90	242	250	68,5
MTH612-10	493	372	0,80	75/90	342	350	68,5
MTH613-10	493	372	0,80	75/90	437	445	68,5
MTH711-10	615	468	1,10	105/90	310	310	92,5
MTH712-10	615	468	1,10	105/90	375	375	92,5
MTH713-10	615	468	1,10	105/90	455	455	92,5
MT112L-6	191	138	0,40	36/27	90	93	16,5
MT112LB-6	191	138	0,40	36/27	135	138	16,5
MT132L-6	225	162	0,40	36/27	135	138	19,5
MT132LB-6	225	162	0,40	36/27	170	173	19,5
MT160L-6	272	200	0,50	54/36	165	168	24,0
MT160LB-6	272	200	0,50	54/36	225	228	24,0
MT200M-6	349	250	0,55	72/54	170	173	25,5
MT200L-6	349	250	0,55	72/54	235	238	25,5
MT225M-6	392	290	0,60	72/54	200	205	29,0
MT225L-6	392	290	0,60	72/54	300	305	29,0
MT280S-8	493	372	0,75	72/84	220	225	33,5
MT280M-8	493	372	0,75	72/84	300	305	33,5
MT280L-8	493	372	0,75	72/84	390	395	33,5
MT355S-10	615	468	1,10	105/90	310	310	60,0
MT355M-10	615	468	1,10	105/90	375	375	60,0
MT355L-10	615	468	1,10	105/90	455	455	60,0

Примечание. Данные по двигателям серии МТ132—МТ355 предварительные.

Контактные кольца выполняются либо из металлокерамики, либо из медных колец. Пластмассовые изоляционные кольца, расположенные между медными кольцами, могут быть местом скопления щеточной пыли, и в новых конструкциях дистанционных колец между контактными кольцами нет. Последние удерживаются в рабочем положении за счет мощного натяга на изоляционной втулке.

Щетки марки М1 располагаются попарно на каждом кольце. Размеры щеток составляют для габаритов двигателей: 0,1 и 2—8×12,5×32 мм; 3—10×25×32 мм; 4 и 5—12,5×32×40 мм; 6—16×40×50 мм; 7—16×50×50 мм.

Для снижения нагрева контактных колец двигателей МТН700 примерно в 2 раза применены щетки марки МГ, при этом нагрев обмотки ротора снижается на 5—10° С.

Подшипниковый щит литой чугунный имеет отверстие для запрессовки изолированного пальца щеткодержателя. Для повышения водозащищенности двигателей в новой серии МТ предусмотрены плоские люки щеткодержателей. Подшипниковые щиты со стороны привода имеют два отверстия для контроля воздушного зазора в собранном двигателе, к бобышкам щита крепится кожух вентилятора. Вентилятор закрепляется от проворота шпонкой. При разжимной системе крепления вентилятора шпонка сохраняется.

Клеммовая коробка имеет отверстия для подвода кабеля справа и слева. Клеммовая рейка в крановых двигателях не делается по соображениям техники безопасности, так как даже при снятой крышке клеммовой коробки не должно быть возможности касания оголенных участков силовой сети.

На двигателях МТ112—МТ160 крышка клеммовой коробки объединена с крышкой коллекторного люка. Двигатели новой серии МТ имеют сальниковые уплотнения для ввода кабелей.

Балансировка роторов двигателей серий MTF и MTH ведется только для двигателей с особо жесткими требованиями по вибрации, а в остальных случаях

Таблица 2-12

Допустимый уровень вибрации электродвигателей серии МТ с фазным ротором

Тип двигателя	Масса* ротора, кг	Допустимая* остаточная неуравновешенность в одной плоскости исправления, г·см	Класс вибрации двигателя по ГОСТ 16921-71	Основная шкала по ГОСТ 16921-71	Число полюсов двигателя
MTF011	14	40	4,5	1,8	6
MTF012	17	50		1,8	6
MTF(H)111	18	55		2,8	6
MTF(H)112	22	65		2,8	6
MTF(H)211	44	130	7,0	2,8	6
MTF(H)311	68	200		2,8	6
MTF(H)312	84	250		2,8	6
MTF(H)411	110	330		4,5	6
MTF(H)412	130	390		4,5	6
MTH511	160	480		4,5	8
MTH512	200	600		4,5	8
MTH611	310	930		4,5	10
MTH612	380	1100		4,5	10
MTH613	460	1350		4,5	10
MTH711	530	1550	11,0*	—	10
MTH712	605	1800			10
MTH713	690	2000			10

* Факультативные значения.

ротор не балансируется, так как он состоит из симметричных относительно оси вращения деталей и узлов. Данные по допустимой вибрации двигателей основного исполнения, а также отдельные параметры, влияющие на вибрацию двигателей, приведены в табл. 2-12.

Охлаждение основного (закрытого) исполнения двигателей осуществляется по системе IC41. В двигателях с $h \geqslant 225$ мм применяется также независимая вентиляция IC16 и IC37, а в ряде зарубежных двигателей — IC51 (см. табл. 2-5).

Двухскоростные двигатели выполняются только с короткозамкнутым ротором, имеющим одну обмотку повышенного скольжения. Отдельные исполнения двигателей не имеют ребер на станине. В ряде двигателей новой серии МТ при относительно большом числе пазов статора удалось унифицировать железо статора для односкоростных и двухскоростных двигателей.

в) Валы и подшипники крановых электродвигателей

Вал двигателя рассчитан на передачу максимального момента при наиболее тяжелых условиях — зубчатой шестерне на конце вала. Минимальный диаметр делительной окружности шестерни D_z в зависимости от диаметра конца вала d_1, мм:

d_1	28	32	36	40	50	70	80	90	100	110	120	130	140
D_z	75	80	90	95	115	145	165	180	200	220	240	260	290

Для шестерни с углом зацепления $\alpha_s = 20°$ давление на зуб

$$N_{макс} = 2M_{макс}/D_z \cos\alpha_s = 2{,}12M_{макс}/D_z,$$

где $M_{макс}$ — наибольший вращающий момент, развиваемый двигателем.

Вал должен быть проверен на прогиб, обусловленный силой тяжести ротора, силой $N_{макс}$ и силой одностороннего магнитного притяжения.

Для эластичной втулочно-пальцевой муфты радиальное усилие на конец вала определяется по формуле

$$N_{макс} = 0{,}6M_{макс}/D_п,$$

где $D_п$ — средний диаметр расположения втулок (пальцев) муфты.

Второй конец вала кранового двигателя часто используется для присоединения тормоза, маховика, тахогенератора. При этом допустимая радиальная нагрузка, Н, приведенная к середине длины конца вала, может быть вычислена по эмпирической формуле $0{,}4d_1^2$ (d_1 — в миллиметрах). Диаметр вала под подшипник в крановых двигателях примерно на 12% больше диаметра конца вала.

Подшипники крановых двигателей имеют расчетную долговечность не менее 10 000 ч. Шариковые подшипники легкой и средней серии применяются для диаметров вала под подшипник 60—70 мм, а при больших диаметрах переходят на роликовые подшипники средней узкой серии с одним бортиком на внутреннем кольце. Все подшипники нормального класса точности, с повышенным радиальным зазором, что особенно важно для двигателей, работающих в условиях вибрации, ударов и значительных перепадов температуры между внутренним и наружным кольцами подшипников (15—20° С) (табл. 2-13). Широко применяется унифицированная система с двумя одинаковыми, незапертыми в осевом направлении подшипниками. При этом ротор имеет осевой разбег в зависимости от длины двигателя l_{30} (см. рис. 2-9): 0,6—2,4 мм при $l_{30} < 950$ мм; 1,2—2,5 мм при $l_{30} = 950 \div 1400$ мм; 1,5—3,2 мм при $l_{30} \geqslant 1400$ мм.

Таблица 2-13

Подшипники крановых электродвигателей

Тип двигателя	Обозначение подшипника		Тип двигателя	Обозначение подшипника
	горизонтальное исполнение	вертикальное исполнение		
Д12	60307	60307	MTF011, 012	60206
Д21, Д22	60309	60309	MTF(H)111, 112	60208
Д31, Д32	312	312	MTF(H)211	70-60309К
Д41, Д806	42 314	314 42 314	MTF(H)311, 312 MTF(H)411, 412	60311 60314
Д808	20-42317Л1	70-417 70-32317	MTH511, 512 MTH611, 612, 613	20-42616 20-42620
Д810	20-42320М	—	MTH711, 712, 713	20-42326М
Д812	20-42322ЛМ	70-322 20-32322 8226	MT112 MT132 MT160	70-60208 70-60309 70-60311
Д814	20-42324М	—	MT200	70-60314
Д816	20-42326М	70-326 20-32326 8230	MT225 MT280 MT355	20-42316 20-42320М 20-42326М
Д818	20-42328Л1	—		

Угол наклона двигателей относительно продольной оси при работе практически не ограничен, необходимо лишь обратить внимание на возможность слива конденсата из внутренних полостей двигателей. Для двигателей с двумя роликовыми подшипниками угол наклона относительно поперечной оси ограничен 15° и допустим только для кратковременных и повторно-кратковременных режимов работы. При продолжительных режимах работы такой наклон двигателя снижает срок службы подшипников примерно в 2 раза даже при тщательной и своевременной замене смазки. Угол наклона до 30° допускается как исключение и только при кратковременной работе с весьма ограниченным общим числом рабочих циклов.

Частые реверсы, пуски и торможения заметно снижают работоспособность подшипников и могут определять их сроки службы. По опытным и эксплуатационным данным предельное число циклов пуск — торможение для подшипников можно определить по рис. 2-13 в зависимости от типа подшипника и внутрен-

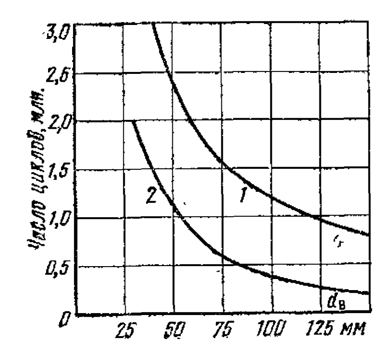


Рис. 2-13. Предельное число реверсов или циклов пуск — торможение для подшипников асинхронных крановых двигателей с короткозамкнутым ротором в зависимости от диаметра вала под подшипник.

1 — шариковые подшипники; 2 — роликовые подшипники.

Таблица 2-14

Характеристики смазок подшипников крановых электродвигателей

Марка смазки	ГОСТ или ТУ на смазку	Диапазон рабочей температуры смазки, °С	Температура каплепадения смазки, °С	Рекомендуемое климатическое исполнение двигателей
ВНИИНП-220	ТУ 38-101.475-74	—60 ÷ +150	200	Т, ХЛ, У
ЦИАТИМ-221	ГОСТ 9433-60	—60 ÷ +150	200	Т, ХЛ, У
1-13	ГОСТ 1631-61	—40 ÷ +80	120	У
ЦИАТИМ-203	ГОСТ 8773-73	—45 ÷ +100	150	У

него диаметра $d_в$ подшипника. Кривые рис. 2-13 относятся к асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором. Для двигателей с фазным ротором и роликовыми подшипниками число циклов может быть увеличено примерно в 2 раза, а с шариковыми подшипниками — в 1,5 раза. Для двигателей постоянного тока предельное число циклов может быть увеличено в 2—4 раза.

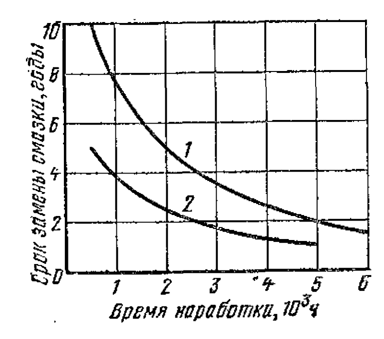


Рис. 2-14. Сроки замены смазки в зависимости от наработки подшипниковых узлов.

1 — нагревостойкие смазки типа ВНИИНП-220; *2* — консистентные смазки типа 1-13 или ЦИАТИМ-203.

Подшипниковые токи в крановых двигателях практически себя не проявляют, так как наводимая э. д. с. в подшипниковых узлах менее 1 В, что недостаточно для пробоя масляной пленки в подшипниках и протекания подшипниковых токов.

Для смазки подшипников крановых двигателей наиболее предпочтительна марка ВНИИНП-220 с присадкой дисульфита молибдена, снижающей износ подшипников в режиме реверсов. Применяемые марки смазок указаны в табл. 2-14. Допустимо применение и других марок смазки, при этом старая смазка должна быть тщательно удалена. При традиционных конструкциях подшипниковых узлов срок замены (пополнения) смазки составляет от 2000 до 4000 ч работы и уточняется применительно к фактическим условиях эксплуатации. При малых наработках календарный срок службы составляет 5—10 лет, большие сроки относятся к малоиспаряемым смазкам типа ЦИАТИМ-221. Примерное соотношение между сроком замены смазки и наработкой двигателя представлено на рис. 2-14. В случае длительных перерывов между заменой смазки рекомендуется проводить выборочную ревизию состояния подшипниковых узлов.

г) Шум и вибрация крановых электродвигателей

Учитывая особо прочную и жесткую конструкцию, большой запас по работоспособности подшипников, расположение двигателей на большинстве механизмов вне зоны рабочих мест обслуживающего персонала, кратковременные режимы работы, требования к крановым электродвигателям по уровню вибрации сдвинуты на один-два класса выше основной шкалы ГОСТ 16921-71, который распространяется на машины массой до 2000 кг.

Для машин переменного тока массой свыше 2000 кг среднеквадратичное значение вибрационной скорости подшипниковых опор и пакетов статоров не должно превышать 4,5 мм/с согласно ГОСТ 20815-75. Точность уравновешивания роторов часто определяет уровень вибрации собранной машины. Для сохранения хорошей коммутации дебаланс якоря двигателя постоянного тока не должен превышать более чем в 3 раза значения, приведенного в табл. 2-9.

Для роторов двигателей рекомендуется устанавливать второй класс точности уравновешивания по ГОСТ 12327-66 (средние по массе роторы), но не при номинальной, а при максимальной рабочей частоте вращения. Таким образом нормы допустимой остаточной неуравновешенности приближаются к нулевому классу точности при номинальной частоте вращения и обеспечивается достаточный запас по отношению к требованиям уровня вибрации готового двигателя.

В процессе эксплуатации уровень вибрации двигателей сохраняется достаточно стабильным, если избегать превышений максимальной частоты вращения и следить за состоянием подшипников. Изменение общего уровня вибрации при переходе от синусоидального питания к несинусоидальному для различных асинхронных двигателей составляет 4—12 дБ, а в режиме несимметричного питания общий уровень вибрации возрастает на 2—6 дБ, в зависимости от степени несимметрии (2—15%).

При питании от выпрямителей крановых двигателей постоянного тока общий уровень вибрации возрастает на 1—8 дБ, в зависимости от габаритов двигателя и коэффициента пульсации по току (2—30%).

Обычно шум крановых двигателей закрытого исполнения не лимитирует шум механизма, а для двигателей с независимой вентиляцией определяющим является шум пристроенного вентилятора. Нормы шума за-

Таблица 2-15

Допустимые значения шума, дБ, по шкале А крановых электродвигателей

Тип двигателя	Высота оси вращения h, мм												
	112	132	160	180	200	225	250	280	315	340	355	375	400
Д, ДП	—	—	72	81	—	81	83	83	85	85	—	85	90
MTF, MTH, MTKF, MTKH	76	78	80	80	—	85	85	—	90	—	—	—	90
МТ(новая серия)	72	78	74	—	80	85	—	85	—	—	90	—	—

Таблица 2-16

Поправки к гигиеническим нормам допустимых значений шума, дБ, по шкале А

Суммарная длительность воздействия за смену (рабочий день)	Характер шума	
	широкополосный	тональный или импульсный
От 4 до 8 ч	0	—5
От 1 до 4 ч	+6	+1
От 1/4 до 1 ч	+12	+7
От 5 до 15 мин	+18	+13
Менее 5 мин	+24	+19

Таблица 2-17

Допуски, посадки и классы шероховатости сопряженных деталей в крановых электродвигателях

Сопрягаемые части или элементы частей, детали	Отклонение сопрягаемых размеров (отверстие/вал) или размера детали		Шероховатость сопрягаемых поверхностей (отверстие/вал) или поверхности детали	
	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение	Новое обозначение
Сопрягаемые части				
Лист якоря — вал	А/Пл	$H_7/p6$	—/∇7	—/√1,6
Лист ротора толщиной 0,5 мм — вал	А/Г	$H_7/n6$	—/∇7	—/√1,6
Лист ротора толщиной 1,0 мм — вал	А/Н	$H_7/k6$	—/∇7	—/√1,6
Шайба нажимная — вал	А/Пр	$H_7/r6$	∇6/∇7	√3,2/√1,6
Шайба нажимная при наличии дополнительной запорной втулки — вал	А/Н	$H_7/k6$	∇6/∇7	√3,2/√1,6
Коллектор или контактные кольца — вал	А/Пл	$H_7/p6$	∇6/∇7	√3,2/√1,6
Втулки, запирающие пакет ротора или подшипник	А/Пл	$H_7/p6$	∇6/∇7	√3,2/√1,6
Втулка вентилятора — вал	A_3/Пл	$H_8/p6$	∇5/∇6	√6,3/√3,2
Вентилятор с разжимным креплением — вал	A_3/C_3	$H_9/h8$	∇3/∇4	√25/√12,5
Щит подшипниковый — крышка подшипника (постоянный ток)	А/С	$H_7/h6$	∇6/∇4	√3,2/√12,5
То же (переменный ток)	A/C_3	$H_7/h9$	∇6/∇4	√3,2/√12,5
Остов — щит подшипниковый (постоянный ток)	A_{2a}/T	$H_8/m6$	∇5/∇6	√6,3/√3,2
Станина — щит подшипниковый (переменный ток)	A'_3/H_{2a}	$H_8/k7$	∇5/∇6	√6,3/√3,2
Станина — лист статора (диаметром до 400 мм)	A_3/C	$H_9/h6$	∇5/—	√6,3/—
То же (диаметром свыше 400 мм)	A_{2a}/C	$H_9/h6$	∇5/—	√6,3/—
Траверса щеткодержателя — подшипниковый щит	A_3/C_4	$H_9/h11$	∇4/∇4	√12,5/√12,5
Палец щеткодержателя — подшипниковый щит (переменный ток)	$A_3/Пр1_3$	H_9/нет аналога	∇4/∇5	√12,5/√6,3
Элементы частей, детали				
Конец вала цилиндрический	ГОСТ 8592-71	ГОСТ 8592-71	∇7	√1,6
То же — конический	ГОСТ 12081-72	ГОСТ 12081-72	∇7	√1,6
Шейка вала под шариковый подшипник	Н	k6	∇8	√0,8
То же — под роликовый подшипник	Т	m6	∇8	√0,8

Продолжение табл. 2-17

Сопрягаемые части или элементы частей, детали	Отклонение сопрягаемых размеров (отверстие/вал) или размера детали		Шероховатость сопрягаемых поверхностей (отверстие/вал) или поверхности детали	
	Старое обозначение	Новое обозначение	Старое обозначение	Новое обозначение
Внутренний диаметр щита под шариковый подшипник	А	H_7	∇6	$\sqrt{}$ 3,2
То же под роликовый подшипник	П	j_s6	∇6	$\sqrt{}$ 3,2
Высота листа главного полюса	[illegible]А	h9	—	—
Высота главного полюса (после сборки)	+0,2; $-C_{3A}$	+0,2; —h9	—	—
Высота добавочного полюса (нешихтованного)	±0,07	±0,07	∇4	$\sqrt{}$ 12,5
Внутренний диаметр станины под полюсы	A_3	H_9	∇4	$\sqrt{}$ 12,5
Наружный диаметр листа якоря	±0,07	±0,07	—	—
Наружный диаметр ротора	C_{2a}	h7	∇5	$\sqrt{}$ 6,3
Внутренний диаметр статора (проточенного)	A_3	H_8	∇5	$\sqrt{}$ 6,3
Ширина паза листа сердечника (до сборки)	—0,07	—0,07	—	—
Ширина паза листа сердечника (после сборки)	—0,20	—0,20	—	—
Диаметр коллектора	—0,50	—0,50	∇8	$\sqrt{}$ 0,8
Диаметр контактных колец	C_{3a}	h9	∇7	$\sqrt{}$ 1,6
Размер от лап до оси станины	по ГОСТ 8592-71 —0,2	по ГОСТ 8592-71 —0,2	∇4	$\sqrt{}$ 12,5

крытых двигателей соответствуют первому классу по ГОСТ 16372-77. При номинальной частоте вращения среднее значение шума по шкале А на расстоянии 1 м от контура двигателя не превышает значений, указанных в табл. 2-15.

Гигиенические нормы допустимых значений шума, дБ, на рабочих местах равны (с учетом табл. 2-16):

Помещения управления (рабочие комнаты)	60
Кабины наблюдения и дистанционного управления	80
То же с речевой связью по телефону	65
Помещения и участки точной сборки	65
Постоянные рабочие места в производственных помещениях и на территории предприятий	85

д) Допуски и посадки в крановых электродвигателях

Для крановых двигателей характерно применение посадок с бо́льшим натягом, чем это предусматривается в двигателях общего применения. Эти посадки определяются предельными нормированными отклонениями, которые для основных сопрягаемых деталей крановых двигателей приведены в табл. 2-17 (система отверстия). Там же указаны шероховатости поверхностей узлов и деталей.

В связи с введенной в странах — членах СЭВ новой единой системой допусков и посадок (ЕСДП) в табл. 2-17 указаны также посадки, заменяющие посадки по системе ОСТ, причем поля допусков по системе ОСТ и по ЕСДП равны или очень близки.

2-3. КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

а) Основные соотношения в электродвигателях постоянного тока

Связь электрических и механических параметров в машинах постоянного тока описывается выражениями

$$E = c_E \Phi n; \qquad (2\text{-}1)$$

$$M = c_M \Phi I_я, \qquad (2\text{-}2)$$

где n — частота вращения электродвигателя, об/мин; E — э. д. с. якоря двигателя, В; $I_я$ — ток якоря, А; Φ — поток главных полюсов, Вб; M — электромагнитный момент двигателя, Н·м; c_E — электрическая постоянная,

$c_E = pN/60a$; c_M — механическая постоянная, $c_M = pN/2\pi a$ (N — число активных проводников обмотки якоря); p — число пар полюсов; a — число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

Мощность на валу двигателя, кВт, выраженная через механические параметры:

$$P_2 = Mn/9550; \qquad (2\text{-}3)$$

выраженная через электрические параметры:

$$P_2 = UI_я \eta \cdot 10^{-3}, \qquad (2\text{-}4)$$

где η — к. п. д. двигателя; U — напряжение двигателя, В.

Из (2-3) и (2-4) следует:

$$M = 9{,}55 UI_я \eta / n. \qquad (2\text{-}5)$$

Поток Ф создается м. д. с. обмоток возбуждения, расположенных на главных полюсах. Если на полюсе размещена одна обмотка, обтекаемая постоянным по значению током, то магнитный поток машины практически постоянен (если пренебречь размагничивающим действием реакции якоря) и, следовательно, при такой системе возбуждения

$$n = \frac{60a}{pN}\left(\frac{U}{\Phi} - \frac{2\pi a}{pN}\frac{r_я}{\Phi^2}M\right), \qquad (2\text{-}6)$$

где $r_я$ — сопротивление цепи якоря двигателя, Ом, т. е. зависимость между n и M будет линейной.

Если помимо обмотки независимого возбуждения есть также и последовательная обмотка, обтекаемая током главной цепи, то в этом случае поток зависит от нагрузки. При возбуждении с помощью только одной последовательной обмотки вращающий момент пропорционален квадрату тока, частота вращения — обратно пропорциональна току (при отсутствии насыщения магнитной цепи), т. е. при ненасыщенной магнитной системе имеет место зависимость

$$n \approx kU/\sqrt{M}, \qquad (2\text{-}7)$$

где k — коэффициент.

Полезный магнитный поток двигателя даже при постоянной м. д. с. полюсов несколько меняется в зависимости от тока якоря, особенно при больших токах. Это явление, называемое *размагничивающим действием реакции якоря,* уменьшает магнитный поток главных полюсов. Размагничивающее действие реакции якоря отражается на характеристиках намагничивания электрических машин, построенных для различных значений тока якоря. Такие характеристики называются *нагрузочными.*

Мощность электрической машины, выраженная через геометрические размеры, равна:

$$P = \frac{\pi}{60}\alpha_i D_я^2 l_я n A B_\delta, \qquad (2\text{-}8)$$

где $D_я$ — диаметр якоря, см; $l_я$ — эффективная длина пакета, см; A — линейная нагрузка, А/см; B_δ — индукция в воздушном зазоре, Тл; α_i — коэффициент расчетной полюсной дуги машины (обычно лежит в пределах 0,60—0,68).

Крановые двигатели должны обладать возможно меньшими значениями момента инерции, чтобы уменьшить время и расход энергии при разгоне и торможении механизма. Поэтому если в машинах общего применения $l_я/D_я = 0{,}6 \div 0{,}9$, то в крановых двигателях для так называемых длинных машин

$$l_я = (0{,}85 - 1{,}15) D_я. \qquad (2\text{-}9)$$

Выполняемые для упрощения изготовления на одном диаметре короткие машины имеют отношение

$l_я/D_я = 0{,}6 \div 0{,}8$. Линейная нагрузка якоря $A = 260 \div 370$ А/см. Допустимое значение фактора нагрева $AJ_я$ для номинальной часовой мощности двигателя с классом изоляции F и H показана на рис. 2-15 (классы изоляции B и ниже практически в новых двигателях не применяются). Соответствующие плотности тока, А/мм², равны:

Для последовательных обмоток возбуждения и для катушек добавочных полюсов	2,5—3,5
Для параллельных обмоток возбуждения	1,2—1,6
Для стабилизирующих обмоток	5,0—6,0

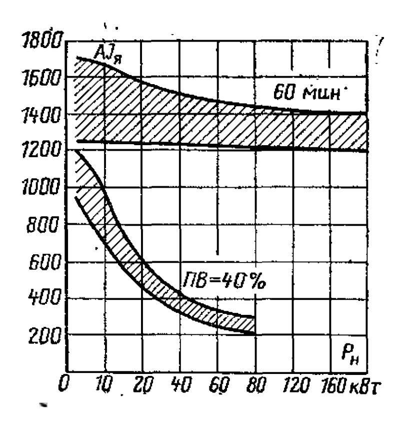


Рис. 2-15. Зависимость фактора нагрева якоря для изоляции классов F и H (в режимах 60 мин и ПВ=40%) от номинальной мощности.

Сечение межкатушечных соединений и выводных концов, выполняемых кабелем марки РКГМ, выбирается по допустимой плотности тока применительно к двигателям закрытого исполнения.

Рекомендуемые значения индукций в магнитной цепи двигателей, Тл:

В воздушном зазоре B_δ	0,6—0,8
В зубцах якоря $B_{z1/3}$	1,7—2,0
В главном полюсе B_m	1,2—1,6
В основании наконечника главного полюса (размер h_p — см. рис. 2-16) B'_m	2,0—2,2
В станине B_s	1,3—1,5
В спинке якоря $B_я$	0,5—1,0

Воздушный зазор

$$\delta \approx 0{,}01 D_я \qquad (2\text{-}10)$$

округляется до целого числа или целого с половиной.

Высота полюса h_m предварительно принимается равной:

$$h_m = (30 \div 40)\,\delta \qquad (2\text{-}11)$$

и далее уточняется после расчета магнитной цепи и размещения на полюсах обмотки возбуждения.

Параллельные обмотки рассчитаны на продолжительный режим работы. Отношение м. д. с. главных полюсов к м. д. с. реакции якоря двигателя с параллельным возбуждением должно быть равно:

$$F_в/F_{р.я} = 1{,}3 \div 1{,}4. \qquad (2\text{-}12)$$

При меньших значениях $F_в/F_{р.я}$ реализовать нормированный максимальный момент двигателей параллельного возбуждения с удовлетворительной коммутацией трудно. С той же целью уменьшения влияния

реакции якоря на ход скоростных характеристик и повышения реализуемого максимального момента применяется специальная форма наконечника главного полюса (рис. 2-16).

Для двигателей смешанного возбуждения, которые применяются все реже, отношение м. д. с. параллельной и последовательной обмоток равно примерно 1 : 1.

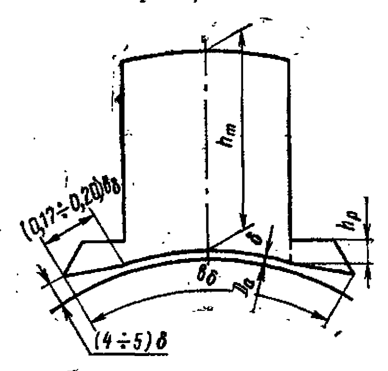


Рис. 2-16. Лист сердечника главного полюса.

Для геометрии крановых двигателей характерно значение отношения (меньшие значения — для больших машин)

$$h/D_я = 1{,}08 \div 0{,}94, \qquad (2\text{-}13)$$

где h — высота оси вращения двигателя.

Маховой момент якоря двигателя GD^2 может быть предварительно определен по формуле

$$GD^2 = k_1 D_a^4 l_a + k_2 D_к^4 l_к, \qquad (2\text{-}14)$$

где $D_к$ и $l_к$ — диаметр и длина рабочей части коллектора, м; $k_1 = 3\cdot10^3$ и $k_2 = 4{,}5\cdot10^3$ — коэффициенты, учитывающие геометрические соотношения и конструктивные материалы в крановых двигателях.

б) Потери энергии и тепловые параметры электродвигателей

Потери энергии, интенсивность охлаждения и режим работы определяют мощность конкретной электрической машины. Поэтому важно знать потери и их распределение по отдельным элементам двигателя.

Потери в стальном пакете якоря $\Delta P_{ст}$ в значительной степени лимитируют мощность закрытых двигателей в продолжительном режиме работы, особенно при высокой частоте вращения. Пересчет потерь для других режимов работы, если известны номинальные потери в стали $\Delta P_{ст.н}$, Вт, проводится по приближенной формуле

$$\Delta P_{ст} \approx k_{1c} k_{2c} \Delta P_{ст.н} \frac{F}{F_н} \left(\frac{n}{n_н}\right)^2, \qquad (2\text{-}15)$$

где F и $F_н$ — м. д. с. (или ток катушки) главного полюса в заданном и номинальном режимах; n и $n_н$ — частота вращения якоря в заданном и номинальном режиме; $k_{1c} = 1$ — для электротехнической стали 1213 (Э13), $k_{1c} = 0{,}95$ — для электротехнической стали марки 2013 (ЭО300), вычислен как пропорциональный корню квадратному из отношения удельных потерь для сталей 2013 и 1213, приведенных при $f = 50$ Гц и $B = 1$ Тл; k_{2c} — поправочный коэффициент, его значения определяются по рис. 2-17.

Формулой (2-15) рекомендуется пользоваться при отсутствии опытных данных.

Электрические потери в меди якоря, катушек главных и добавочных полюсов $\Delta P_э$ легко находятся по произведению квадрата тока на сопротивление (I^2r), если известны обмоточные данные двигателя.

Номинальные потери в меди относятся к превышению температуры обмоток 115° С.

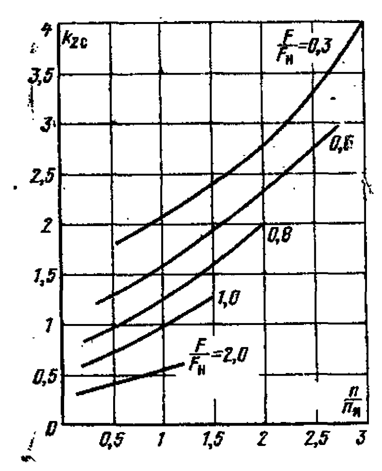


Рис. 2-17. Поправочный коэффициент для расчета потерь в стали.

Переходные потери $\Delta P_щ$ в месте контакта щеток с коллектором равны произведению $\Delta U_щ I_я$ ($\Delta U_щ$ — падение напряжения под щетками, принимается постоянным и равным 2 В).

Механические потери $\Delta P_{мех}$ на трение щеток, в подшипниках и на вращение встроенного вентилятора принимаются пропорциональными частоте вращения (вентилятор часто отсутствует или же потери на вентиляцию относительно малы).

Добавочные потери $\Delta P_{доб}$ при нагрузке (потери в меди от пазового поля и коммутационные, а также увеличение потерь в стали) составляют 1% потребляемой двигателем мощности в диапазоне токов от нуля до номинального и пропорциональны квадрату потребляемого тока.

Потери в обмотке параллельного возбуждения $\Delta P_{пар}$ условно не включаются в расчет к. п. д., однако для повторно-кратковременных режимов работы потери в этой обмотке существенно сказываются на нагреве двигателя и общем балансе потерь, поскольку обмотка возбуждения постоянно подключена к сети.

Потери в стальных бандажах обычно составляют менее 0,3 Вт/см² поверхности бандажа и около 10% потерь в стальном пакете якоря. В новых двигателях применяются стеклобандажи, потерь в которых практически нет.

Коммутационные потери в меди якоря особо учитываются при значительной высоте проводников обмотки якоря и большой частоте вращения и определяются по [27].

Распределение потерь в двигателе средней мощности, около 50 кВт, 220 В, параллельного возбуждения, тихоходного исполнения в режимах ПВ=40% и 60 мин показано на рис. 2-18. При этом изменение теплового состояния при кратковременном повышении нагрузки двигателя не учитывалось, а распределение потерь при $I_я \approx 0$ определялось с учетом тока холостого хода; $I_н$ соответствует номинальному току при ПВ=40%, $I_н'$ — току режима 60 мин. Для двигателей

меньшей мощности доля потерь $\Delta P_э$ в меди обмоток увеличивается.

Усредненные значения потерь в двигателях серии Д параллельного возбуждения для режима работы ПВ=40% приведены в табл. 2-18, причем потери в стали определены для марки 1213 (Э13).

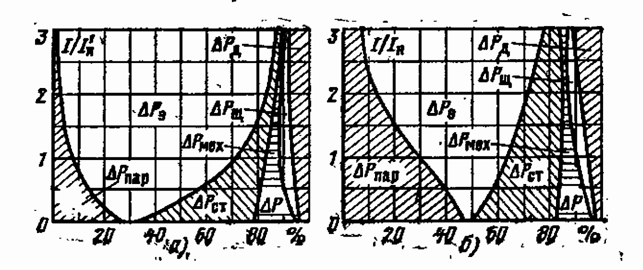


Рис. 2-18. Распределение потерь в крановом электродвигателе параллельного возбуждения.

а — режим 60 мин; *б* — режим ПВ=40%.

Таблица 2-18

Потери, Вт, в двигателях серии Д параллельного возбуждения, тихоходного исполнения при ПВ=40%

Тип двигателя	Обмотки параллельного возбуждения	Обмотки якоря и добавочных полюсов	Сердечник якоря	Трение щеток и подшипников	Переходные щетка—коллектор	Добавочные потери	Сумма потерь (без обмотки возбуждения)
Д12	140	400	100	60	30	30	620
Д21	230	500	150	130	40	45	865
Д22	260	510	210	130	50	60	960
Д31	330	750	240	140	80	85	1295
Д32	350	1050	280	150	110	120	1710
Д41	450	1150	450	250	160	180	2190
Д806	550	1000	700	300	170	190	2360
Д808	700	970	900	400	250	250	2770
Д810	750	1000	1300	550	300	350	3500
Д812	950	1150	1500	650	380	420	4100
Д814	1000	1400	2300	750	550	600	5600
Д816	1250	1470	2800	1000	700	930	6900
Д818	1500	1550	3400	1300	850	1000	8100

Потери в обмотках катушек последовательного или смешанного возбуждения и стабилизирующей обмотке определяются по данным табл. 2-26—2-28.

В режиме ПВ=40% удельные суммарные потери на единицу наружной поверхности закрытого двигателя параллельного возбуждения составляют 600—1000 Вт/м². Для кратковременных режимов работы (менее 30 мин) независимая вентиляция и другие виды охлаждения малоэффективны, а при особо коротких периодах работы (менее 15 мин) нагрев обмоток определяется практически только их теплоемкостью и плотностью тока. Для режимов длительностью 1—3 мин превышение температуры медной обмотки равно:

$$\Theta_м \approx J^2 t/4{,}5, \qquad (2\text{-}16)$$

где J — плотность тока в обмотке, А/мм²; t — время нахождения под током, мин.

Для режима длительностью $t=5$ мин коэффициент в знаменателе формулы (2-16) будет 5,5; при $t=10$ мин — 8,0; при $t=15$ мин — 9,5, а при $t<1$ мин—3,3.

Для оценки работы электрических машин в кратковременных режимах в табл. 2-19 приведены постоянные времени нагрева.

Таблица 2-19

Постоянные времени нагрева крановых электрических машин постоянного тока

Режим нагрева, мин	Масса электрической машины, кг	Постоянная времени нагрева, с
<3	50—100	600
	100—300	900
	300—1000	1200
	1000—4000	1800
10—20	50—100	900
	100—300	1100
	300—1000	2200
	1000—4000	4000
20—60	50—100	2000
	100—300	2800
	300—1000	4000
	1000—4000	6000

Значение допустимого тока при кратковременных режимах может быть ориентировочно определено с учетом данных табл. 2-19 по формуле

$$I_{доп} = \frac{I_н}{\sqrt{1 - e^{-\frac{t}{T_н}}}}, \qquad (2\text{-}17)$$

где $I_н$ — номинальный ток продолжительного режима, А; t — время нагрузки, с; $T_н$ — постоянная времени нагрева, с.

в) Коммутация электрических машин

Важнейшим фактором, ограничивающим максимально допустимый ток, максимальный момент, диапазон регулирования частоты вращения за счет увеличения напряжения и ослабления магнитного поля, в машинах постоянного тока является коммутационная способность коллектора.

Сущность процесса коммутации заключается в переключении секций обмотки якоря коллекторной машины из одной параллельной ветви в другую с изменением тока в них на обратный при перемещении коллектора под щеткой. Коммутация тока при вращении якоря вызывает искрообразование под щетками, которое ведет к обгоранию коллектора и щеток, а в некоторых случаях может вызвать круговой огонь. Интенсивность искрообразования зависит от ряда параметров электрической машины, тщательности изготовления коллектора, подбора марки щетки и многих других факторов.

Допускаемое биение коллекторов крановых двигателей постоянного тока, замеренное на нагретой машине, составляет 0,04—0,06 мм. Для холодной машины биение коллектора обычно на 0,01—0,02 мм меньше. Перепад по высоте между соседними, рядом расположенными коллекторными пластинами не должен превосходить 2—3 мкм. При условии хорошей коммутации и отсутствии выступания отдельных пластин может быть допущено увеличение указанных пределов биения на 0,02 мм при диаметре коллектора до 200 мм и на 0,03 мм при диаметре коллектора свыше 200 мм.

Номинальная плотность тока под щеткой для крановых двигателей выбирается в пределах 8—10 А/см². Как правило, щетки по окружности коллектора располагаются со сдвигом в осевом направлении на 8—11 мм, с тем чтобы обеспечить равномерный износ коллектора.

С учетом значительных перегрузок по току крановых двигателей применяются щетки обязательно с токоведущими проводами, с номинальной плотностью тока в токоведущем проводе 4—7 А/мм², если считать условно, что весь ток от щетки проходит только по проводам щетки.

При удовлетворительном проектировании и изготовлении узла коллектор — щеткодержатель интенсивность искрообразования можно оценить так называемым фактором искрения

$$\Phi_{и} = c\left(\frac{40}{D_{к}}\right)^{1,5} \frac{L_{с}\, v_{к}\,(e_R - 1,2e_{к})^2}{2\beta_{к}\, l_{щ}}, \qquad (2\text{-}18)$$

где $D_{к}$ — диаметр коллектора, см; $L_{с}$ — индуктивность короткозамкнутой секции, Гн; $v_{к}$ — окружная скорость коллектора, см/с; $\beta_{к}$ — коллекторное деление, см; $l_{щ}$ — длина щеток одного щеткодержателя, см; e_R — реактивная э. д. с. в короткозамкнутой секции, В; $e_{к}$ — коммутирующая э. д. с., создаваемая потоком добавочного полюса, В; $c=1$ для петлевой обмотки и волновой с полным комплектом щеток; $c=2$ для волновой обмотки с одним комплектом щеток.

На рис. 2-19 показана зона факторов искрения и приведена шкала степени искрения по ГОСТ 183-74, а также разработанная на заводе «Динамо» буквенная, более подробная шкала, обычно применяемая при исследованиях. Оценка искрения ведется при соблюдении следующих правил:

Таблица 2-20

Характеристики искрения при коммутации

Степень искрения: Шкала ГОСТ 183-74	Степень искрения: Буквенная шкала	Характеристика степени искрения (см. рис. 2-19)	Состояние коллектора и щеток
1	*a*	Отсутствие искрения	Отсутствие почернения на коллекторе и следов нагара на щетках
$1^1/_4$	*b*	Отдельное точечное, слабое искрение под небольшой частью края щетки	
	c		
$1^1/_2$	*d*	Слабое искрение под большей частью края щетки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
—	*e*	Равномерное точечное искрение по всей длине края щетки	
2	*f*		
	g	Крупные искры звездчатого характера, треск	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
—	*h*		
3	*i*	Искры брызгающего характера, треск; значительное искрение под всем краем щетки	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и частичное разрушение щеток
—	*j*	Местные дуги под щеткой, языкообразные выбросы	
	k		
	l		

все щетки должны быть правильно установлены и притерты;

наблюдение ведется за положительной щеткой на двигателе и отрицательной — на генераторе;

оценка степени искрения ведется под сбегающим краем щетки по шкалам табл. 2-20;

при опасности обгорания щеток наблюдение сначала проводят при малых нагрузках;

все наблюдения ведутся при убывающем токе;

состояние коллектора и щеток проверяют по истечении времени, необходимого для достижения практически установившейся температуры машины (для продолжительного номинального режима работы — через

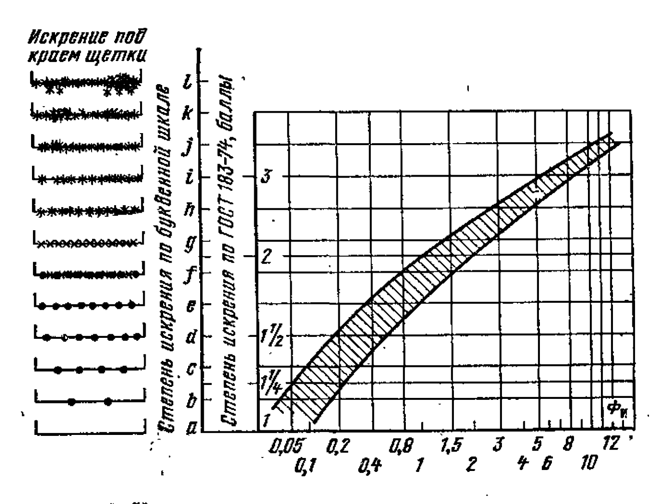


Рис. 2-19. Характеристики искрения.

2 ч после начала работы машин мощностью до 100 кВт и через 4 ч — для машин мощностью 100—300 кВт, для повторно-кратковременного номинального режима работы — после такой же продолжительности работы в данном режиме).

При номинальном режиме степень искрения должна быть не выше $1^1/_2$.

Степень искрения 2 допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки. Степень искрения 3 допускается только для моментов прямого включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

Двигатели серии Д исполнений 12—32 при номинальном напряжении должны в течение 30 с и двигатели исполнений 41, 806—818 в течение 60 с выдерживать ток, указанный в табл. 2-21, причем искрение на коллекторе не должно достигать степени искрения 3.

Как видно из (2-18), фактор искрения зависит от квадрата некомпенсированной реактивной э. д. с. e_R. В свою очередь e_R в коммутируемой секции пропорциональна току якоря $I_я$ (линейной нагрузке A), частоте вращения n, квадрату числа витков w^2, суммарной проводимости потоков рассеяния λ, зависит от числа и размеров коллекторных пластин, размеров щеток. Появление разности $e_R - e_{к}$ обусловлено насыщением магнитной цепи добавочного полюса при перегрузках, отставанием потока добавочных полюсов от тока в неустановившемся режиме и т. д. Таким образом, в фактор искрения частота вращения входит в третьей степени, а ток — в степени несколько ниже второй. В неустановившихся режимах на степень искрения электрических машин влияет также скорость изменения тока и воз-

Таблица 2-21

Кратность максимального момента и перегрузка по току двигателей серии Д

Вид возбуждения	Кратность максимального момента в часовом режиме: при номинальном напряжении, 220 В	при номинальном напряжении, 440 В	при трогании с места двигателей на номинальное напряжение, 220 В	при трогании с места двигателей на номинальное напряжение, 440 В	Отношение тока при испытании на перегрузку к номинальному, соответствующему часовой мощности, при номинальном напряжении, 220 В	440 В
Последовательное	4,0	3,20	5,0	4,0	3,2	2,55
Смешанное	3,5	2,80	4,2	3,4	3,0	2,40
Параллельное со стабилизирующей обмоткой	3,0	2,40	3,5	2,8	3,0	2,40
Параллельное	2,7	2,15	3,0	2,4	2,8	2,25

никающие перенапряжения на коллекторе и между отдельными пластинами.

Поскольку идеальное совпадение e_R и $e_к$ невозможно, то в наиболее тяжелых режимах, например в тормозном режиме двигателя с высокой частотой вращения и большим током, значение e_R не должно превосходить 10—12 В.

Коммутационную устойчивость электрических машин целесообразно проверять по следующим соотношениям:

среднему межсегментному напряжению на коллекторе, В,

$$e_{ср} = \frac{2pU}{K} \leqslant 20; \qquad (2\text{-}19)$$

максимальному межсегментному напряжению на коллекторе при уменьшении м. д. с. главных полюсов и большом токе, В,

$$e_{макс} = \frac{e_{ср}}{\alpha}\left(1 + 0,45\frac{F_{р.я}}{F_в}\right) \leqslant 35 \div 40; \qquad (2\text{-}20)$$

напряжению на 1 см окружности коллектора для номинального напряжения с возможностью регулирования скорости за счет повышения напряжения, В/см,

$$\varepsilon_{макс} = \frac{e_{макс}}{\beta_к} \leqslant 90 \div 100, \qquad (2\text{-}21)$$

где K — число коллекторных пластин; α — коэффициент полюсного перекрытия; $F_{р.я}$ — м. д. с. реакции якоря; $F_в$ — м. д. с. главных полюсов.

Особо важно проверить значение $e_{макс}$ для электрических машин, работающих при напряжении выше 400 В и сильно ослабленном основном потоке.

В переходных режимах длительностью менее 0,1 с перегрузка двигателей по току может быть увеличена примерно на 20%, поскольку искажение магнитного поля в воздушном зазоре за счет увеличения м. д. с. реакции якоря не успевает проявиться и заметного усиления искрения щеток не возникает.

г) Работа крановых электродвигателей постоянного тока при питании их от выпрямителей

Питание двигателей постоянного тока от регулируемых статических выпрямителей находит все большее применение.

Двигатели серии Д по ГОСТ 184-71 допускают питание от регулируемых статических выпрямителей, соединяемых по трехфазной мостовой схеме, без применения сглаживающих реакторов. Экспериментальные исследования, проведенные при питании от выпрямителей, позволяют сделать следующие выводы.

1. За счет пульсации тока нагрев двигателей возрастает на 2—3% при коэффициенте пульсации тока k_i = 15%, на 5—7% — при k_i = 25%, на 15—22% — при k_i = 35%, причем

$$k_i = (i_{макс} - i_{мин})/(i_{макс} + i_{мин}), \qquad (2\text{-}22)$$

где $i_{макс}$ — максимальное значение тока при пульсирующей нагрузке; $i_{мин}$ — минимальное значение тока при пульсирующей нагрузке.

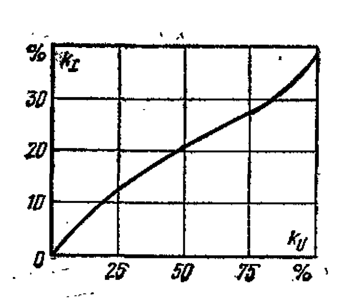


Рис. 2-20. Связь между коэффициентами пульсации напряжения и тока на электродвигателе без применения сглаживающего реактора.

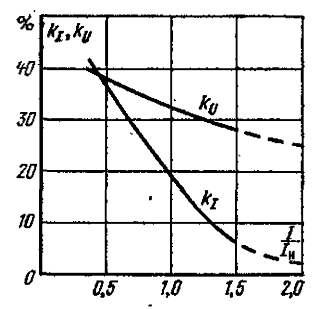


Рис. 2-21. Зависимость коэффициентов пульсации напряжения и тока от нагрузки электродвигателя.

Аналогично подсчитывается коэффициент пульсации напряжения k_u.

Для наиболее распространенной трехфазной мостовой схемы уровень пульсаций ниже 5—7% для диапазона мощностей двигателей от 20 до 200 кВт, при этом дополнительный нагрев двигателей можно не учитывать.

2. Для двигателей средней мощности, например Д810 (55 кВт, 220 В, 282 А, 550 об/мин, параллельное возбуждение), связь между коэффициентами пульсации напряжения и тока при питании двигателя от регулируемого выпрямителя без сглаживающего реактора близка к линейной и показана на рис. 2-20. Собственная индуктивность двигателя существенно снижает пульсации тока. Рисунок 2-20 справедлив для мощности преобразователя, близкого к мощности двигателя, при номинальной нагрузке двигателя. В двигателях меньшей мощности (20—50 кВт) индуктивность возрастает и снижение пульсации тока будет проявляться несколько больше. В диапазоне мощности 60—200 кВт индуктивность цепи якоря, включающей обмотку якоря и добавочных полюсов, меняется несущественно.

3. При близких мощностях преобразователя и двигателя с ростом тока нагрузки коэффициент пульсации тока резко снижается, как показано на рис. 2-21. Это благоприятно сказывается на коммутации двигателей при перегрузках. Для диапазона мощности 20—200 кВт и относительно редкого случая, когда мощность одного двигателя в несколько раз меньше мощности регулируемого выпрямителя, рис. 2-21 также справедлив с учетом относительно большей индуктивности двигателя малой мощности.

4. С ростом нагрузки на двигатель искрение на щетках может даже уменьшаться (примерно на 0,5 бал-

Таблица 2-22

Коммутация двигателей серии Д при питании от выпрямителей

Ориентировочные значения коэффициентов пульсации, %		Коммутация при $1,41I_н$		Ток начала искрения
k_i	k_u	по шкале ГОСТ 183-74	по буквенной шкале (см. табл. 2-20)	
0	0	$1^1/_2$	*d*	$1,40I_н$
16	35	$1^1/_2$—2	*e*	$1,05I_н$
27	75	$1^1/_2$—2	*e*—*f*	$0,35I_н$
38	100	2	*f*—*g*	0 (весь диапазон)

ла буквенной шкалы) вследствие снижения пульсации тока.

Связь между коэффициентами пульсации тока и напряжения и коммутацией двигателя средней мощности (около 50 кВт) при постоянной нагрузке, превышающей в 1,41 раза номинальную, представлена в табл. 2-22, причем в первой строке приведен режим при постоянном токе, без пульсаций. Там же показан ток начала искрения, если ток постепенно увеличивать от нуля.

5. Шихтованные сердечники добавочных полюсов дают улучшение коммутации, примерно на 0,5 балла буквенной шкалы искрения, при умеренных пульсациях тока ($k_i \leqslant 16\%$).

При значениях $k_i = 25 \div 35\%$ применение таких шихтованных сердечников дает улучшение коммутации на один балл буквенной шкалы.

6. Преобразователь следует выбирать так, чтобы номинальное напряжение двигателя было близко или равно напряжению верхнего предела регулирования на выходе преобразователя. Недоиспользование преобразователя по мощности или напряжению влечет за собой увеличение пульсации выходного тока и напряжения, что отрицательно влияет на коммутацию и нагрев двигателя. Исследования, проведенные на двигателях серии 2П при питании от преобразователей, показали, что с изменением частоты пульсации тока якоря граница искрения практически не меняется. Уменьшение частоты вращения якоря путем снижения напряжения, когда одновременно растет переменная составляющая тока якоря, также не ухудшает искрения щеток даже при отсутствии сглаживающей индуктивности.

При ослаблении поля двигателей с номинальным напряжением 220 В обеспечивают регулирование до максимальной частоты вращения с ухудшением коммутации на одну-две ступени шкалы ГОСТ 183-74 (до степени искрения 2) при умеренных значениях коэффициента пульсации по току $k_i \leqslant 0,2$. Для двигателей с номинальным напряжением 440 В значения k_i должны быть уменьшены в 1,5—2 раза.

Одним из критериев динамических свойств двигателей может служить допустимая скорость изменения тока якоря двигателя, которая в системах приводов крановых механизмов не превосходит $100\ I_н$ в секунду. В то же время по результатам испытаний отечественных и зарубежных двигателей установлены следующие допустимые значения скорости изменения тока якоря:

Для двигателей с полностью шихтованным магнитопроводом добавочных полюсов и бескаркасными катушками добавочных полюсов	$600I_н$
Для двигателей с компенсационной обмоткой	$250I_н$
Для двигателей без компенсационной обмотки с шихтованными сердечниками добавочных полюсов	$200I_н$
Для двигателей без специальных мер по улучшению коммутации	$100—200I_н$

При пониженном напряжении скорость нарастания тока в якоре двигателя может быть увеличена до (300—900) $I_н$ в секунду в зависимости от номинальной мощности и конструктивного исполнения.

Из приведенных материалов следует, что применение специальных мер по улучшению динамических свойств двигателей по скорости изменения тока требуется только для особо быстродействующих систем приводов, обычно не свойственных крановым механизмам.

д) Серия Д электродвигателей постоянного тока крановых и металлургических

Двигатели серии Д соответствуют ГОСТ 184-71 с учетом изменения № 2, оформленного в 1979 г. Серия построена на десяти диаметрах, имеет тринадцать исполнений по основным размерам, причем три исполнения имеют по две длины.

Двигатели предназначены для работы в электроприводах грузоподъемных машин, в том числе металлургических. Для механизмов с большим числом включений (до 2000 в час) с целью повышения динамических показателей привода и уменьшения расхода энергии на разгон якоря разработаны тихоходные двигатели всех исполнений с относительно невысокой частотой вращения. Для механизмов с числом включений примерно до 300 в час предусмотрены быстроходные двигатели исполнений Д21 — Д808, имеющие номинальную частоту вращения на 30—55% большую, чем двигатели первого типа. Двигатели характеризуются повышенной кратностью пусковых и максимальных моментов и широким диапазоном регулирования скорости.

Двигатели серии Д изготавливаются на номинальное напряжение 220 В (все 20 исполнений) и на напряжение 440 В (с ограничениями по исполнениям). Двигатели изготавливаются с последовательным, смешанным, параллельным возбуждением и параллельным со стабилизирующей обмоткой возбуждением. По способу монтажа и расположению вала основное исполнение — форма М101. Кроме того, могут быть заказаны двигатели формы М202 — до исполнения 32 включительно, формы М201 — до исполнения 808 включительно, формы М302 — все исполнения двигателей (см. табл. 2-7). Двигатели вертикального исполнения имеют в обозначении букву В, например ДВ 32.

Степень защиты от внешних воздействий закрытых двигателей — IP22, двигателей с принудительной вентиляцией (без крышек) — IP20. Поставка двигателей производится с установленными крышками на окнах входа и выхода воздуха, поэтому двигатели закрытого исполнения с естественным охлаждением (исполнение IC00) и защищенного исполнения с принудительной вентиляцией (исполнение IC16) взаимозаменяемы (см. табл. 2-5).

Станины двигателей до исполнения 808 неразъемные, а начиная с исполнения 810 — разъемные. В двигателях применена изоляция только с классом нагревостойкости Н.

Номинальными данными закрытых двигателей являются данные режима 60 мин, а защищенных двигателей с независимой вентиляцией (продуваемых) — продолжительного режима (ПВ=100%). Значения номинальной мощности, частоты вращения, а также номинального тока и максимального момента (при номинальном напряжении) двигателей на напряжение 220 В приведены в табл. 2-23, двигателей на 440 В — в табл. 2-24. Максимальная допустимая частота вращения для двигателей на 220 и 440 В одинакова. В табл. 2-25 приведены допустимые нагрузки двигателей исполнения IC00 в режимах ПВ=15, 25, 40, 60 и 100%.

Максимальный момент двигателей при номинальном напряжении и ПВ=40% практически не меняется при

Таблица 2-23

Технические данные двигателей серии Д на напряжение 220 В

Тип двигателя	Мощность в режиме 60 мин (закрытый) или ПВ=100% (продуваемый), кВт	Номинальный ток, частота вращения, максимальный момент при возбуждении: последовательном			смешанном			параллельном со стабилизирующей обмоткой			параллельном			Максимальная допустимая частота вращения, об/мин
		$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	
							Тихоходные двигатели							
Д12	2,5	16,0	1100	86	15,0	1175	71	14,6	1140	63	14,6	1180	54	3600
Д21	4,5	28,0	900	191	27,0	1050	143	26,0	1000	128	26,0	1030	113	3600
Д22	6,0	36,5	850	270	34,0	1050	191	33,0	1070	161	33,0	1100	137	3600
Д31	8,0	46,5	800	382	44,5	870	307	44,0	820	280	44,0	840	245	3600
Д32	12,0	69,0	675	675	66,0	780	514	65,0	740	466	65,0	770	402	3300
Д41	16,0	89,0	650	930	86,5	700	765	86,0	670	686	86,0	690	598	3000
Д806	22,0	120,0	575	1 420	116,0	650	1 130	116,0	635	981	116,0	650	872	2600
Д808	37,0	200,0	525	2 650	192,0	575	2 150	192,0	565	1 860	192,0	575	1 655	2300
Д810	55,0	294,0	500	4 210	285,0	550	3 300	282,0	540	2 880	282,0	550	2 550	2200
Д812	75,0	390,0	475	6 030	385,0	515	4 850	380,0	500	4 260	380,0	515	3 720	1900
Д814	110,0	565,0	460	9 100	555,0	500	7 350	550,0	490	6 420	550,0	500	5 680	1700
Д816	150,0	765,0	450	12 750	750,0	480	10 400	745,0	470	9 120	745,0	480	8 040	1600
Д818	185,0	935,0	410	17 150	925,0	435	14 400	920,0	440	12 050	920,0	450	10 600	1500
							Быстроходные двигатели							
Д21	5,5	33,0	1200	176	31,5	1450	127	31,0	1400	113	31,0	1440	98	3600
Д22	8,0	46,0	1200	255	44,0	1390	193	43,5	1450	157	43,5	1510	137	3600
Д31	12,0	68,0	1100	412	65,0	1280	313	64,0	1310	255	64,0	1360	225	3600
Д32	18,0	98,0	960	715	95,0	1100	548	94,0	1140	451	94,0	1190	382	3300
Д41	24,0	130,0	970	940	125,0	1120	715	124,0	1060	648	124,0	1100	559	3000
Д806	32,0	170,0	900	1 320	165,0	980	1 090	165,0	980	930	165,0	1000	823	2600
Д808	47,0	248,0	720	2 450	240,0	800	1 960	238,0	770	1.715	238,0	800	1 510	2300

Таблица 2-24

Технические данные электродвигателей серии Д на напряжение 440 В

Тип двигателя	Мощность в режиме 60 мин (закрытый) или ПВ=100% (продуваемый), кВт	Номинальные ток, частота вращения, максимальный момент при возбуждении: Последовательном			Смешанном			Параллельном со стабилизирующей обмоткой			Параллельном		
		$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м
							Тихоходные двигатели						
Д21	4,0	13,0	1050	116	12,5	1240	86	12,0	1200	76	12,0	1220	68
Д31	6,7	19,5	800	265	20,0	840	213	19,0	860	176	19,0	875	157
Д41	15,0	43,0	660	696	40,0	710	565	40,0	695	490	40,0	710	436
Д808	37,0	100,0	525	2150	98,0	550	1800	96,0	565	1470	96,0	575	1320
Д810	55,0	145,0	510	3280	—	—	—	141,0	550	2250	141,0	560	2010
Д812	70,0	180,0	500	4260	—	—	—	176,0	510	3130	176,0	520	2750
Д814	110,0	280,0	460	7300	—	—	—	273,0	490	5150	273,0	500	4510
Д816	150,0	380,0	460	9810	—	—	—	370,0	480	7150	370,0	490	6320
Д818	185,0	467,0	410	13 700	—	—	—	460,0	440	9600	460,0	450	8480
							Быстроходные двигатели						
Д22	7,0	20,5	1180	1810	20,0	1410	132	19,5	1420	113	19,5	1460	98
Д32	17,0	47,0	970	5340	46,0	1100	415	45,0	1150	338	45,0	1190	294
Д806	32,0	85,0	900	10 750	83,0	950	900	82,0	980	745	82,0	1000	657

Таблица 2-25

Технические данные электродвигателей серии Д

Тип двигателя	Мощность, ток, частота вращения, максимальный момент при ПВ=15%			ПВ=25%			ПВ=40%				ПВ=60%			ПВ=100%		
	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин
							Напряжение 220 В, возбуждение последовательное									
							Тихоходные двигатели									
Д12	3,4	25	800	3,0	19	960	2,4	15	1150	86	2,1	12	1300	1,4	8	1770
Д21	5,3	35	780	4,5	28	900	3,6	22	1040	191	3,1	19	1180	1,8	11	1630
Д22	7,0	44	770	6,0	36	850	4,8	28	970	270	4,2	24	1100	2,6	15	1520

Продолжение табл. 2-25

Тип двигателя	Мощность, ток, частота вращения, максимальный момент при															
	ПВ=15%			ПВ=25%			ПВ=40%				ПВ=60%			ПВ=100%		
	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин
Д31	10,0	62	690	8,5	50	770	6,8	39	900	382	5,6	32	1000	3,5	20	1330
Д32	14,5	85	600	12,0	68	675	9,5	53	760	675	8,5	46	810	4,7	26	1140
Д41	20,0	115	580	17,0	94	630	13,0	71	730	930	11,5	62	780	6,5	35	1050
Д806	26,5	147	530	22,0	118	580	17,0	92	640	1 420	14,0	73	700	8,5	46	880
Д808	39,0	210	505	32,0	170	560	24,0	125	615	2 650	19,0	100	700	11,5	62	900
Д810	60,0	320	490	49,0	255	520	35,0	182	610	4 210	29,0	150	620	17,0	90	760
Д812	79,0	415	470	64,0	330	510	47,0	242	560	6 020	37,0	190	615	21,5	115	815
Д814	111,0	570	470	87,0	445	500	70,0	356	550	9 100	46,0	235	640	27,0	140	900
Д816	140,0	710	460	109,0	550	510	85,0	430	540	12 750	57,0	290	700	32,0	170	1000
Д818	187,0	940	415	152,0	760	445	106,0	530	500	17 150	73,0	370	575	45,0	240	750
Быстроходные двигатели																
Д21	6,6	41	1070	5,5	33	1200	4,4	26	1340	176	3,7	22	1520	2,0	13	2300
Д22	9,5	57	1080	8,0	46	1200	6,5	37	1300	265	5,5	31	1480	3,2	18	2100
Д31	14,5	83	980	12,0	67	1100	9,5	53	1190	412	8,0	44	1350	4,5	25	1750
Д32	21,0	116	920	17,0	92	1000	13,5	72	1100	715	11,0	58	1250	6,5	36	1600
Д41	28,0	155	890	23,0	124	970	18,0	96	1060	940	15,0	80	1170	9,0	48	1500
Д806	36,0	190	870	29,5	155	940	23,0	120	1010	1375	19,5	105	1060	12,0	65	1280
Д808	50,0	260	705	40,0	210	770	30,0	155	850	2450	25,0	130	940	15,0	80	1150
Напряжение 220 В, возбуждение параллельное со стабилизацией[1] и без стабилизации[2]																
Тихоходные двигатели																
Д12	3,6	23	1100/1140	3,0	18	1100/1130	2,4	14	1200/1230	57/57	2,0	11	1230/1270	1,1	6	1290/1330
Д21	5,2	32	980/1020	4,5	26	980/1010	3,6	21	1060/1080	103/90	2,9	16	1100/1120	1,6	9	1160/1170
Д22	7,2	41	1070/1120	6,0	33	1030/1060	4,8	26	1120/1150	127/108	3,6	20	1140/1120	2,0	12	1200/1220
Д31	10,5	60	810/850	8,5	47	800/840	6,8	37	850/880	230/201	5,4	29	870/910	3,0	17	910/940
Д32	14,5	82	740/780	12,0	65	730/760	9,5	51	770/800	373/319	7,5	39	790/800	4,0	22	810/815
Д41	19,0	105	680/700	16,0	85	660/680	13,0	70	700/720	549/476	9,5	50	720/730	5,5	30	740/745
Д806	24,5	130	680/695	20,0	104	695/705	16,0	84	700/710	765/677	12,0	62	705/715	6,5	35	710/720
Д808	37,0	190	605/625	30,0	150	610/630	22,0	112	620/630	1450/1295	17,0	85	625/635	9,5	50	635/640
Д810	50,0	255	580/595	40,0	205	585/595	29,0	148	590/600	2160/1910	22,5	115	590/600	12,0	65	595/605
Д812	66,5	335	535/545	53,5	270	540/550	38,0	192	555/565	3190/2795	28,5	145	560/570	16,0	85	565/575
Д814	100,0	495	540/550	80,0	395	545/555	55,0	280	550/560	4810/4270	38,5	196	550/560	20,5	110	555/565
Д816	125,0	620	525/535	97,0	480	525/535	70,0	350	525/535	6870/6030	47,0	240	530/540	24,0	130	535/545
Д818	165,0	820	460/470	130,0	650	460/470	83,0	415	460/470	9025/7950	58,0	292	465/475	32,0	166	470/480
Быстроходные двигатели																
Д21	6,8	39	1370/1420	5,5	31	1360/1400	4,4	25	1460/1500	90/78	3,4	19	1500/1520	2,0	12	1550/1570
Д22	10,0	56	1480/1560	8,0	44	1430/1490	6,5	34	1510/1570	127/108	5,0	28	1520/1550	2,5	15	1580/1600

Продолжение табл. 2-25

Тип двигателя	Мощность, ток, частота вращения, максимальный момент при															
	ПВ=15%			ПВ=25%			ПВ=40%				ПВ=60%			ПВ=100%		
	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин
Д31	15,0	82	1320/1390	12,0	64	1300/1350	9,5	51	1360/1420	206/181	7,0	38	1410/1440	4,0	22	1450/1480
Д32	20,0	106	1180/1230	16,0	84	1130/1180	13,0	68	1190/1240	363/304	10,0	52	1200/1240	5,5	30	1240/1260
Д41	27,0	140	1090/1160	22,0	114	1060/1110	17,5	91	1120/1160	520/446	13,0	68	1130/1170	7,0	40	1150/1170
Д806	33,0	170	1050/1060	27,5	140	1050/1060	21,0	110	1050/1060	726/643	15,0	80	1050/1060	8,5	47	1050/1060
Д808	43,0	220	790/825	35,0	175	800/825	26,0	134	810/825	1325/1175	19,0	96	815/830	10,0	57	825/835
Напряжение 440 В, возбуждение последовательное																
Тихоходные двигатели																
Д21	4,7	16	900	4,0	13	1050	3,1	10	1230	116	2,6	9	1350	1,5	5	1800
Д31	8,2	26	700	7,0	21	770	5,2	16	900	255	4,3	14	970	2,5	9	1190
Д41	19,0	55	600	16,0	45	660	12,5	35	760	696	11,0	30	810	6,0	17	1090
Д808	39,0	105	505	32,0	85	560	24,0	63	615	2 160	19,0	50	700	11,5	31	900
Д810	60,0	160	490	49,0	127	520	35,0	91	610	3 290	29,0	75	620	17,0	45	760
Д812	76,0	200	475	62,0	160	515	45,0	115	590	4 270	35,0	90	625	20,5	55	825
Д814	111,0	285	470	87,5	223	500	66,0	168	565	7 310	46,0	117	640	27,5	70	900
Д816	140,0	355	460	109,0	275	510	85,0	215	540	9 810	57,0	145	700	32,0	85	1000
Д818	187,0	470	415	152,0	380	445	100,0	250	515	13 730	73,0	185	575	45,0	120	750
Быстроходные двигатели																
Д22	8,4	26	1050	7,0	20	1180	5,6	17	1300	181	4,5	14	1420	2,5	8	1900
Д32	19,7	56	960	16,0	44	1050	12,6	34	1200	535	10,0	28	1320	5,7	17	1720
Д806	36,0	95	870	29,5	77	940	23,0	60	1010	1080	19,5	52	1060	12,0	32	1280
Напряжение 440 В, возбуждение параллельное со стабилизацией[1] и без стабилизации[2]																
Тихоходные двигатели																
Д21	4,7	15	1200/1220	4,0	12	1190/1210	3,1	10	1280/1300	61/54	2,5	8	1310/1320	1,2	4	1390/13 95
Д31	8,6	26	845/865	7,0	20	830/850	5,2	15	890/910	142/128	4,3	13	900/910	2,2	7	935/840
Д41	18,0	50	685/700	15,0	40	670/680	12,5	34	710/720	392/348	9,0	24	725/730	5,0	14	740/745
Д808	37,0	95	605/625	30,0	75	610/630	22,0	56	620/630	1128/1030	17,0	43	625/635	9,5	25	635/640
Д810	50,0	127	580/595	40,0	102	585/595	29,0	74	590/600	1715/1510	22,5	57	590/600	12,0	33	595/605
Д812	63,0	160	540/550	51,0	130	545/555	36,0	92	560/570	2350/2060	27,0	70	565/575	15,0	41	570/580
Д814	100,0	246	540/550	80,0	196	545/555	55,0	138	550/560	3870/3380	38,5	98	550/560	20,5	55	555/565
Д816	125,0	310	525/535	97,0	240	525/535	70,0	175	530/540	5400/4760	47,0	120	530/540	24,0	65	535/545
Д818	165,0	410	460/470	130,0	325	460/470	83,0	205	460/470	7210/6380	58,0	146	465/475	32,0	83	470/480
Быстроходные двигатели																
Д22	9,0	25	1480/1530	7,0	20	1420/1460	5,6	16	1510/1550	90/78	4,0	12	1520/1540	2,0	7	1580/1590

Продолжение табл. 2-25

Тип двигателя	Мощность, ток, частота вращения, максимальный момент при															
	ПВ=15%			ПВ=25%			ПВ=40%				ПВ=60%			ПВ=100%		
	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	M, Н·м	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин	$P_н$, кВт	$I_н$, А	n, об/мин
Д32	19,0	51	1200/1250	15,0	40	1160/1200	12,0	32	1200/1240	270/235	9,0	25	1240/1260	5,0	15	1270/1280
Д806	33,0	85	1050/1060	27,5	70	1050/1060	21,0	55	1050/1060	677/610	15,0	40	1050/1060	8,5	24	1050/1060
Напряжение 220 В, возбуждение смешанное																
Тихоходные двигатели																
Д12	3,6	23	1040	3,0	18	1160	2,4	14	1230	67	2,0	11	1330	1,2	7	1460
Д21	5,5	35	1000	4,5	27	1080	3,6	21	1140	140	2,9	17	1210	1,7	10	1400
Д22	7,0	41	1060	6,0	34	1050	4,8	27	1120	181	3,9	22	1150	2,2	13	1250
Д31	10,5	61	810	8,5	48	860	6,8	37	910	292	5,5	29	960	3,2	17	1040
Д32	15,0	84	740	12,0	66	800	9,5	51	840	490	7,7	41	880	4,5	24	930
Д41	20,0	112	700	16,0	87	720	13,0	70	740	726	10,0	52	770	6,0	32	800
Д806	26,0	140	650	21,0	110	675	17,0	88	730	1050	11,5	60	750	7,5	40	775
Д808	39,0	200	600	31,0	160	625	24,0	124	650	2000	19,0	100	670	11,0	60	690
Быстроходные двигатели																
Д21	6,8	39	1390	5,5	32	1470	4,4	25	1550	122	3,6	20	1630	2,1	12	1750
Д22	10,0	56	1330	8,0	45	1400	6,5	36	1475	181	5,0	28	1560	3,0	17	1680
Д31	14,5	80	1250	12,0	65	1310	9,5	51	1360	298	7,5	41	1430	4,0	24	1520
Д32	20,0	108	1070	16,0	85	1140	13,0	66	1200	522	10,0	55	1230	6,0	32	1310
Д41	29,0	151	1080	23,0	120	1120	18,0	95	1160	680	14,5	75	1190	8,5	45	1240
Д806	35,0	182	980	29,0	150	1020	23,0	118	1060	1000	17,5	91	1000	10,0	55	1130
Д808	49,0	250	815	43,5	222	830	30,0	152	860	1900	22,0	115	880	13,0	70	900
Напряжение 440 В, возбуждение смешанное																
Тихоходные двигатели																
Д21	4,9	16	1140	4,0	13	1240	3,2	10	1310	82	2,5	8	1400	1,3	5	1610
Д31	8,5	26	800	7,0	21	850	5,3	16	900	200	4,3	13	940	2,4	8	1000
Д41	20,0	56	700	16,0	44	720	13,0	35	740	540	10,6	28	760	6,0	17	800
Быстроходные двигатели																
Д22	8,7	25	1380	7,0	20	1450	5,5	16	1530	126	4,3	13	1600	2,3	8	1730
Д32	18,5	54	1130	15,0	40	1200	11,5	33	1260	322	9,0	26	1310	4,5	15	1390

[1] Частота вращения и момент указаны в числителе.
[2] Частота вращения и момент указаны в знаменателе.

переходе на другие значения ПВ, поскольку для последовательного возбуждения максимальный момент ограничивается в основном коммутацией двигателей, а для параллельного возбуждения при длительном включении катушек возбуждения нагрев их и, следовательно, м. д. с. мало зависят от прочих потерь в двигателе. Усредненная зависимость между мощностью двигателей в режиме 60 мин и повторно-кратковременных режимах при различных ПВ показана на рис. 2-8.

Ток двигателя исполнения IC00 в режиме 30 мин составляет около 120% тока в режиме 60 мин. Ток двигателя исполнения IC16 в режимах, отличных от ПВ=100%, равен: при ПВ=60% приблизительно 125%, при ПВ=40% — 150%, при ПВ=25% — 190% тока режима ПВ=100%, приведенного в табл. 2-23 и 2-24. Мощность и частота вращения указанных режимов работы двигателей могут быть определены из рабочих характеристик.

Двигатели выполняются с двумя концами вала, каждый из которых может быть использован как приводной, или с одним концом вала, расположенным со стороны, противоположной коллектору. Максимально допустимые диаметры делительной окружности шестерни на конце вала при зубчатой передаче указаны в разд. 2-2, в. Второй конец вала и (по заказу) выводные концы двигателя снабжаются защитными кожухами. Выводные концы расположены слева, если смотреть со стороны коллектора.

Параллельные обмотки возбуждения (при параллельном и смешанном возбуждении) рассчитаны на продолжительную работу, т. е. могут не отключаться во время остановки двигателя. Обмотки параллельного возбуждения двигателей состоят из двух групп, рассчитанных для включения на напряжение 220 или 110 В. При включении на 220 В группы соединяются последовательно, на 110 В — параллельно, на 440 В — последовательно и включаются также последовательно добавочные резисторы. Добавочные резисторы поставляются комплектно с двигателем при указании об этом в заказе.

Схемы соединений частей двигателей и обозначения выводных концов приведены на рис. 2-12.

Двигатели рассчитаны на регулирование частоты вращения путем ослабления магнитного потока или повышения напряжения на якоре. Двигатели с параллельным возбуждением и со стабилизирующей обмоткой допускают увеличение номинальной частоты вращения в

2 раза (тихоходные со стабилизирующей обмоткой в 2,5 раза) путем уменьшения тока возбуждения или за счет уменьшения тока возбуждения только в одной группе катушек. При этой увеличенной частоте вращения максимальный вращающий момент не должен превышать 0,8 номинального — для двигателей на 220 В и 0,64 — для двигателей на 440 В.

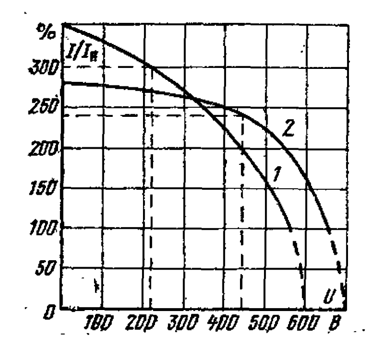


Рис. 2-22. Перегрузочная способность электродвигателей серии Д в зависимости от напряжения.

1 — для двигателей на 220 В; *2* — для двигателей на 440 В.

Способ увеличения частоты вращения путем уменьшения тока в одной группе по сравнению с уменьшением тока возбуждения в обеих группах катушек дает более стабильную форму механической характеристики, но применим только для двигателей, имеющих волновую обмотку якоря.

Тихоходные и быстроходные двигатели на 220 В с параллельным возбуждением и параллельным возбуждением со стабилизирующей обмоткой, за исключением двигателей, соединяемых последовательно, допускают увеличение номинальной частоты вращения в 2 раза путем повышения приложенного напряжения. При этой увеличенной частоте вращения и полном возбуждении максимальный момент не должен превышать 1,5 номинального.

На рис. 2-22 показана обобщенная зависимость допустимой перегрузки по току (по отношению к номинальному току при ПВ=40%) в зависимости от приложенного напряжения для двигателей на напряжение 220 и 440 В с учетом некоторого запаса в коммутационном отношении, необходимого для реализации максимальных моментов. Двигатели с параллельным возбуждением и параллельным возбуждением со стабилизирующей обмоткой допускают указанное выше увеличение номинальной частоты вращения частично путем уменьшения тока возбуждения и частично путем повышения напряжения.

Двигатели всех систем возбуждения допускают в двигательном и генераторном режимах увеличение частоты вращения до максимальной (см. табл. 2-23). Ток при этом не должен превышать 0,7 номинального значения для тихоходных двигателей и 1,2 номинального — для быстроходных.

Основные размеры двигателей, значения маховых моментов и массы даны в подписи к рис. 2-23.

Данные обмоток двигателей на напряжение 220 и 440 В приведены в табл. 2-26—2-28. Все двигатели имеют по четыре главных и четыре добавочных полюса. Двигатели параллельного возбуждения и параллельного со стабилизирующей обмоткой имеют одинаковые катушки параллельного возбуждения. Сопротивления обмоток даны при температуре 20° С. Конкретное исполне-

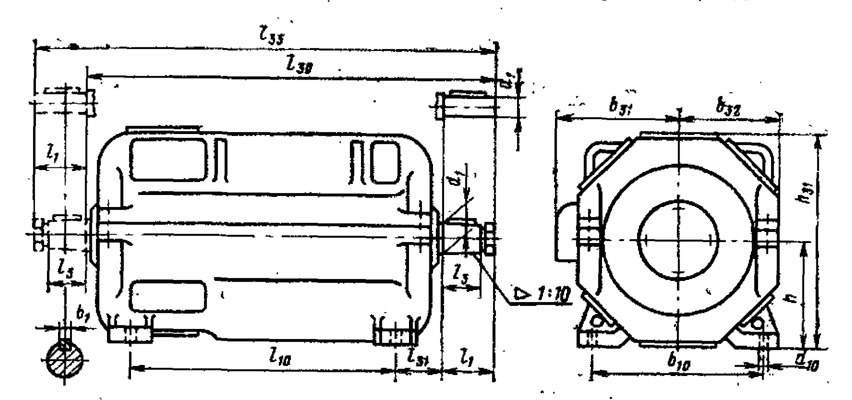


Рис. 2-23. Основные размеры и масса электродвигателей серии Д.

Тип двигателя	Размер, мм														Масса, кг	GD^2, кг·м²
	b_1	b_{10}	b_{31}	b_{32}	d_1	d_{10}	l_1	l_3	l_{10}	l_{30}	l_{31}	l_{33}	h	h_{31}		
Д12	8	280	185	160	28	19	60	—	220	561	115,0	644	160	323	130	0,2
Д21	10	300	215	185	35	19	80	—	194	665	170,5	774	180	373	200	0,5
Д22	10	300	215	185	35	19	80	—	239	710	170,5	819	180	373	225	0,6
Д31	14	390	250	225	50	26	110	—	250	752	173,0	896	225	453	310	1,2
Д32	14	390	250	225	50	26	110	—	320	822	173,0	966	225	453	365	1,7
Д41	16	430	305	255	65	32	105	70	299	910	209,0	1050	250	508	540	3,2
Д806	16	420	305	260	65	32	105	70	533	930	165,0	1073	250	508	635	4,0
Д808	20	476	335	290	80	32	130	90	628	1047	159,0	1206	280	562	885	8,0
Д810	22	520	480	320	90	32	130	90	660	1114	178,0	1276	315	635	1250	14,6
Д812	25	570	510	350	100	35	165	120	724	1220	172,0	1398	340	690	1770	28,0
Д814	28	636	545	385	120	42	165	120	813	1362	200,0	1543	375	762	2240	41,0
Д816	28	686	570	410	130	42	200	150	890	1502	212,0	1714	400	810	2860	65,0
Д818	32	760	620	460	140	48	200	150	990	1579	201,0	1792	450	910	3745	110,0

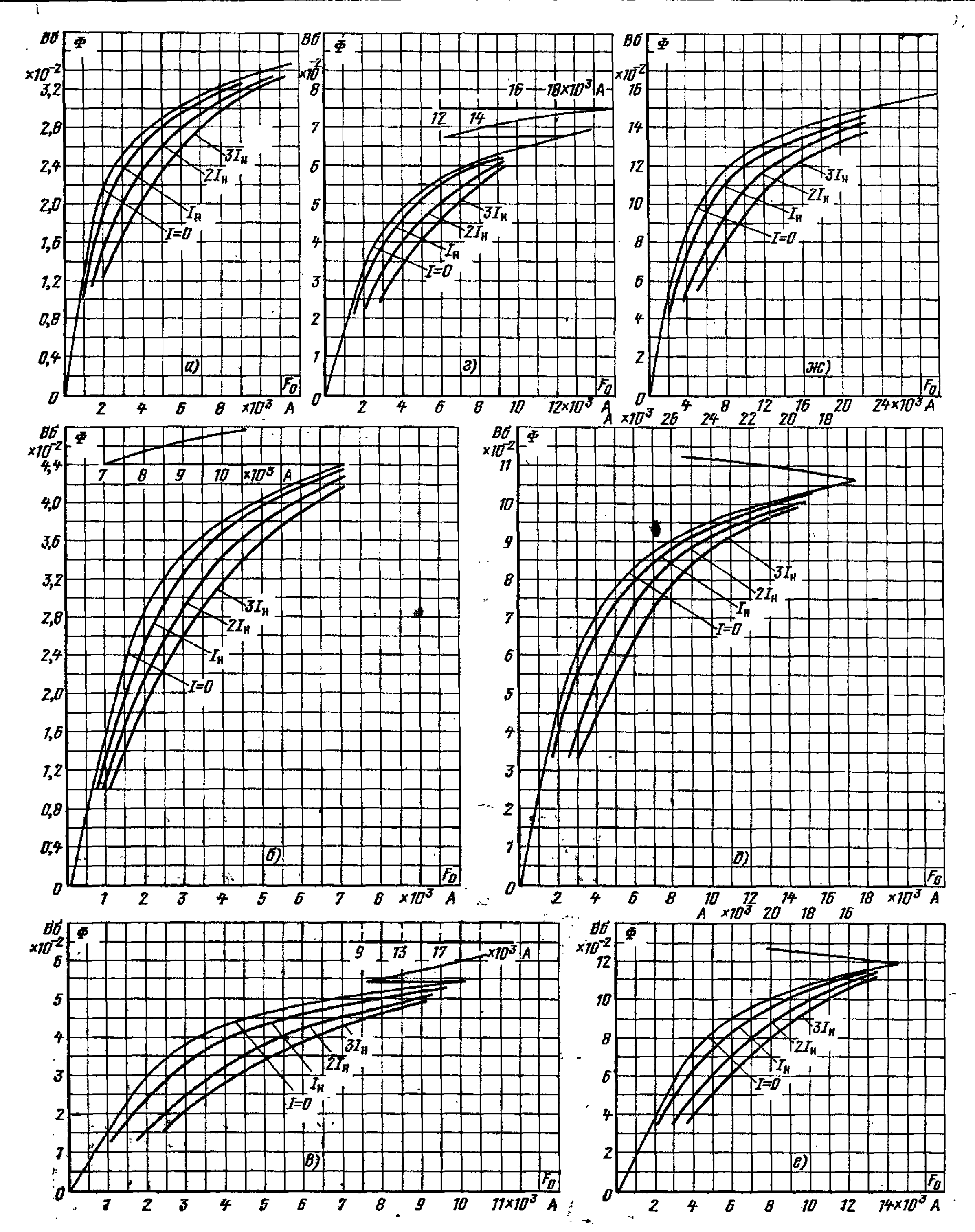


Рис. 2-24. Нагрузочные характеристики электродвигателей.

а — Д806; *б* — Д808; *в* — Д810; *г* — Д812; *д* — Д814; *е* — Д816; *ж* — Д818.

Таблица 2-26

Данные обмоток электродвигателей серии Д последовательного возбуждения

Тип двигателя	Число активных проводников якоря	Число параллельных ветвей якоря	Сопротивление обмотки якоря, Ом	Число витков на добавочный полюс	Сопротивление обмотки добавочных полюсов, Ом	Число витков на главный полюс	Сопротивление последовательной обмотки, Ом	Номинальный магнитный поток на полюс, 10^{-2} Вб	Магнитный поток на полюс в режиме ПВ=40%, 10^{-2} Вб
				Напряжение 220 В					
				Тихоходные двигатели					
Д12	990	2	1,1300	75 1/2	0,5000	83	0,5900	0,466	0,454
Д21	920	2	0,6600	73	0,2800	92	0,2800	0,620	0,568
Д22	696	2	0,3700	57	0,1960	82	0,2600	0,896	0,828
Д31	738	2	0,3250	55	0,0930	67	0,1110	0,936	0,859
Д32	558	2	0,2000	41	0,0800	48	0,0972	1,450	1,340
Д41	492	2	0,1100	36	0,0510	40	0,0490	1,800	1,650
Д806	372	2	0,0675	27	0,0410	36	0,0520	2,700	2,500
Д808	278	2	0,0340	21	0,0200	30	0,0310	3,960	3,530
Д810	234	2	0,0234	17	0,0122	24	0,0160	5,060	4,310
Д812	210	2	0,0140	15	0,0090	21	0,0103	6,020	5,280
Д814	608	8	0,0079	11	0,0050	15	0,0066	8,700	7,500
Д816	504	8	0,0059	9	0,0032	12	0,0045	10,990	9,260
Д818	504	8	0,0039	10	0,0027	11	0,0032	11,930	9,770
				Быстроходные двигатели					
Д21	690	2	0,3560	54	0,1750	92	0,2800	0,657	0,614
Д22	522	2	0,2020	44	0,1200	63	0,1900	0,890	0,850
Д31	492	2	0,1380	39	0,0560	67	0,1110	1,010	0,950
Д32	372	2	0,0850	28	0,0360	39	0,0500	1,640	1,470
Д41	310	2	0,0470	23	0,0250	40	0,0490	1,960	1,850
Д806	246	2	0,0310	18	0,0160	26	0,0280	2,720	2,480
Д808	210	2	0,0185	16	0,0110	24	0,0200	3,960	3,470
				Напряжение 440 В					
				Тихоходные двигатели					
Д21	1610	2	2,4000	127	1,4000	210	1,8000	0,608	0,553
Д31	1476	2	1,6700	120	0,4600	142	0,6300	0,925	0,853
Д41	894	2	0,4750	74	0,2200	76	0,2400	1,770	1,580
Д808	556	2	0,0136	40	0,0740	60	0,0135	4,030	3,590
Д810	468	2	0,0940	34	0,0450	48	0,0600	5,010	4,340
Д812	418	2	0,0650	29	0,0340	40	0,0390	5,810	5,010
Д814	310	2	0,0325	23	0,0190	29	0,0240	8,600	7,380
Д816	504	8	0,0219	19	0,0125	24	0,0175	10,640	9,320
Д818	504	8	0,0160	19	0,0096	22	0,0125	12,000	9,820
				Быстроходные двигатели					
Д22	1044	2	1,1500	84	0,5400	140	0,9600	0,885	0,836
Д32	738	2	0,3900	55	0,1440	82	0,2650	1,620	1,360
Д806	492	2	0,1290	35	0,0680	50	0,0990	2,730	2,490

ние двигателей может отличаться от данных табл. 2-26—2-28, например, числом витков и диаметров провода катушки параллельного возбуждения.

Нагрузочные характеристики, т. е. зависимость магнитного потока от м. д. с. главных полюсов (ампер-витков возбуждения), при постоянных токах якоря представлены на рис. 2-24 для двигателей Д806—Д818. Двигатели Д12 — Д41 не отличаются по характеристикам от двигателей ДП12 — ДП41, по которым имеются сведения в литературе и каталогах. Нагрузочные характеристики и данные обмоток позволяют определить параметры двигателей при регулировании частоты вращения путем изменения напряжения на якоре и усилением или ослаблением поля, определить добавочное сопротивление в цепи параллельной обмотки двигателя для частоты вращения, отличной от номинальной, и пр.

Двигатели смешанного возбуждения исполнения Д810 — Д818 практически не применяются, поэтому сведения по ним не приводятся. Уменьшенное по сравнению с двигателями серии ДП влияние реакции якоря на ход скоростных характеристик двигателей Д810 — Д818, а также наличие двигателей параллельного возбуждения со стабилизирующей обмоткой способствуют сокращению применения двигателей смешанного возбуждения.

Двигатели тропического исполнения имеют номинальную мощность на 7,5% ниже по сравнению с указанной в табл. 2-23, 2-24 с учетом повышения температуры окружающей среды до 45° С. В процессе изготовления якори двигателей проходят дополнительную пропитку с обязательной последующей окраской эмалью лобовых частей. Щетки тропического исполнения имеют луженые провода. Для подшипников двигателей климатических исполнений Т и ХЛ применяется смазка марок ВНИИНП-220 или ЦИАТИМ-221, уплотнения коллекторных люков выполняются из резины марки НО-68 или фетра, пропитанного антисептическим составом.

Отделка наружных поверхностей тропических двигателей проводится с грунтовкой и окраской нагревостойкой эмалью, заводская табличка выполняется из латуни.

Таблица 2-27

Данные обмоток электродвигателей смешанного возбуждения серии Д[1]

Тип двигателя	Число витков на полюс последовательной обмотки	Сопротивление последовательной обмотки, Ом	Число витков на полюс параллельной обмотки	Сопротивление параллельной обмотки, Ом	Номинальный ток параллельной обмотки, А	Номинальный магнитный поток на полюс, 10^{-2} Вб	Ток параллельной обмотки в режиме ПВ=40%, А	Магнитный поток на полюс в режиме ПВ=40%, 10^{-2} Вб
Напряжение 220 В								
Тихоходные двигатели								
Д12	24 1/2	0,1350	2000	496	0,39	0,469	0,86	0,454
Д21	18 1/2	0,0720	1850	228	0,80	0,560	0,73	0,540
Д22	18 1/2	0,0670	1620	206	0,87	0,774	0,78	0,750
Д31	18 1/2	0,0356	1600	140	1,25	0,889	1,12	0,871
Д32	10 1/2	0,0180	1370	132	1,35	1,320	1,20	1,260
Д41	9	0,0160	1700	128	1,35	1,720	1,20	1,660
Д806	12	0,0145	1800	169	1,04	2,470	0,90	2,250
Д808	9	0,0105	1200	67	2,60	3,770	2,25	3,440
Быстроходные двигатели								
Д21	18 1/2	0,0720	1850	228	0,80	0,576	0,73	0,554
Д22	18 1/2	0,0670	1620	206	0,87	0,804	0,78	0,776
Д31	18 1/2	0,0356	1600	140	1,25	0,896	1,12	0,855
Д32	10 1/2	0,0180	1370	132	1,35	1,470	1,20	1,380
Д41	9	0,0160	1700	128	1,35	1,750	1,20	1,730
Д806	9	0,0095	1800	169	1,04	2,540	0,90	2,400
Д808	6	0,0057	1200	67	2,60	3,680	2,25	3,500
Напряжение 440 В								
Тихоходные двигатели								
Д21	47 1/2	0,500	1850	228	0,80	0,554	0,73	0,548
Д31	38 1/2	0,174	1600	140	1,25	0,904	1,12	0,876
Д41	19	0,058	1700	128	1,35	1,700	1,20	1,660
Быстроходные двигатели								
Д22	30 1/2	0,230	1620	206	0,87	0,780	0,78	0,744
Д32	21 1/2	0,071	1370	132	1,35	1,420	1,20	1,360

[1] Данные обмоток якоря и добавочных полюсов см. табл. 2-26.

Таблица 2-28

Данные обмоток электродвигателей параллельного и параллельного со стабилизирующей обмоткой возбуждения серии Д (для якоря и добавочных полюсов см. табл. 2-26)

Тип двигателя	Параллельное возбуждение						Параллельное возбуждение со стабилизирующей обмоткой			
	Число витков на полюс параллельной обмотки	Сопротивление параллельной обмотки, Ом	Номинальный ток параллельной обмотки, А	Номинальный магнитный поток на полюс, 10^{-2} Вб	Ток параллельной обмотки в режиме ПВ=40%, А	Магнитный поток на полюс в режиме ПВ=40%, 10^{-2}, Вб	Число витков на полюс стабилизирующей обмотки	Сопротивление стабилизирующей обмотки, Ом	Номинальный магнитный поток на полюс 10^{-2} Вб	Магнитный поток на полюс в режиме ПВ=40%, 10^{-2} Вб
Напряжение 220 В										
Тихоходные двигатели										
Д12	1800	260,0	0,700	0,476	0,65	0,460	6½	0,0420	0,490	0,469
Д21	1790	142,0	1,200	0,584	1,00	0,580	5½	0,0260	0,600	0,588
Д22	1480	130,0	1,350	0,754	1,18	0,741	4½	0,0190	0,772	0,759
Д31	1870	120,0	1,450	0,933	1,25	0,909	4½	0,0120	0,952	0,938
Д32	1470	94,0	1,850	1,350	1,62	1,330	4½	0,0086	1,400	1,380
Д41	1480	70,0	2,500	1,760	2,20	1,720	3	0,0037	1,810	1,760
Д806	1400	65,0	2,700	2,500	2,30	2,340	2	0,0046	2,550	2,370
Д808	1250	44,4	3,930	3,810	3,40	3,580	2	0,0037	3,860	3,640
Д810	1500	46,2	3,900	4,760	3,25	4,500	2	0,0041	4,820	4,560
Д812	1350	34,4	5,300	5,710	4,30	5,360	1	0,0023	5,880	5,440
Д814	1300	34,0	5,500	8,220	4,40	7,520	1	0,0018	8,330	7,620
Д816	1140	26,4	7,100	10,360	5,60	9,500	1	0,0011	10,520	9,660
Д818	1210	22,2	8,260	11,100	6,70	10,900	1	0,0010	11,280	11,060
Быстроходные двигатели										
Д21	1790	142	1,200	0,590	1,00	0,580	5½	0,0260	0,604	0,574
Д22	1480	130	1,350	0,757	1,18	0,743	4½	0,0190	0,783	0,769
Д31	1870	120	1,450	0,834	1,25	0,812	4½	0,0120	0,865	0,842
Д32	1470	94	1,850	1,370	1,62	1,340	4½	0,0086	1,420	1,400
Д41	1480	70	2,500	1,810	2,20	1,740	3	0,0037	1,870	1,800
Д806	1400	65	2,700	2,520	2,30	2,420	2	0,0046	2,580	2,440
Д808	1250	44	3,930	3,720	3,40	3,680	2	0,0037	3,850	3,730
Напряжение 440 В										
Тихоходные двигатели										
Д21	1790	142	1,20	0,580	1,00	0,560	5½	0,0260	0,589	0,570
Д31	1870	120	1,45	0,889	1,25	0,885	4½	0,0120	0,903	0,903
Д41	1480	70	2,50	1,720	2,20	1,720	3	0,0037	1,750	1,740
Д808	1250	44	3,93	3,860	3,40	3,610	2	0,0037	3,910	3,670
Д810	1500	46	3,90	4,710	3,25	4,520	3	0,0110	4,770	4,590
Д812	1350	34	5,30	5,720	4,30	5,360	2	0,0056	5,820	5,450
Д814	1300	34	5,50	8,100	4,40	7,400	2	0,0067	8,220	7,510
Д816	1140	26	7,10	10,230	5,60	9,480	2	0,0032	10,400	9,640
Д818	1210	22	8,26	11,160	6,70	10,900	2	0,0037	11,350	11,120
Быстроходные двигатели										
Д22	1480	130	1,35	0,773	1,18	0,745	4½	0,0190	0,794	0,764
Д32	1470	94	1,85	1,380	1,62	1,360	4½	0,0086	1,430	1,400
Д806	1400	65	2,70	2,530	2,30	2,430	2	0,0046	2,580	2,450

Срок службы двигателей серии Д — 20 лет. Вероятность безотказной работы при доверительной вероятности 0,8 составляет 0,98 при трех годах эксплуатации и 0,92 при пятнадцати годах эксплуатации.

2-4. КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

а) Основные соотношения параметров для асинхронных электродвигателей

Основные соотношения параметров для асинхронных двигателей можно получить из схемы замещения асинхронного двигателя, приведенной на рис. 2-25,*а*, где обозначено: r_1, r_2' и r_0 — активные сопротивления фазы обмотки статора, обмотки ротора (приведенное к статору) и намагничивающей цепи; x_1, x_2' и x_0 — индуктивные сопротивления рассеяния статора, ротора (приведенное к статору) и сопротивление взаимной индукции.

Построение круговой диаграммы упрощается, если цепь намагничивания условно отнести к первичным выводам. Из нескольких способов преобразования схемы замещения метод М. П. Костенко наиболее точно отражает первоначальную схему замещения. В преобразованной схеме замещения (рис. 2-25,*б*) ток вторичной цепи I_2'' является геометрической разностью первичного тока I_1 и ток намагничивания I_0 (при $s=0$) основной схемы замещения.

Выражение полного эквивалентного сопротивления главной цепи будет иметь вид:

$$z = e^{-j2\psi}\left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\sigma_1^2\right) + j\left(x_1\sigma_1 + x_2'\sigma_1 + \frac{r_1^2}{x_0}\right)\right], \quad (2\text{-}23)$$

где σ_1 — первичный коэффициент рассеяния, $\sigma_1 = 1 + z_1/z_0$; $\mathrm{tg}\,2\psi$ — тангенс угла поворота линии центра, $\mathrm{tg}\,2\psi \approx 2\,\mathrm{tg}\,\psi = 2r_1/(x_1+x_0)$; s — скольжение двигателя.

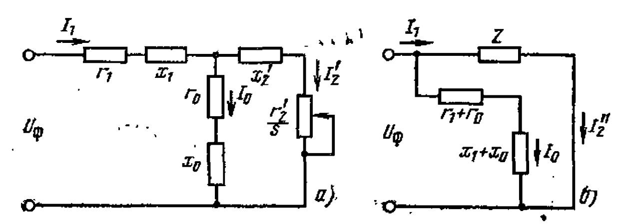


Рис. 2-25. Т-образная схема замещения асинхронного электродвигателя (*а*) и преобразованная схема замещения (*б*).

Диаметр круговой диаграммы

$$D_a = \frac{U_{1\Phi}}{x_k'' + r_1^2/x_0}, \quad (2\text{-}24)$$

где $x_k'' = x_1\sigma_1 + x_2'\sigma_1^2$.

Обычно r_1^2 весьма мало по сравнению с x_0, поэтому для двигателей мощностью свыше 5 кВт отношением r_1^2/x_0 можно пренебречь. При повороте осей координат окружности круговой диаграммы главной цепи на угол 2ψ против часовой стрелки на этот же угол поворачиваются по отношению к вектору напряжения фазы U_Φ все линии и отрезки круговой диаграммы. Угол наклона линии моментов к линии центра определяется по формуле

$$\mathrm{tg}\,\alpha_1 = \mathrm{tg}\,\alpha_{s=\infty} = \frac{r_1}{x_k'' + r_1^2/x_0}. \quad (2\text{-}25)$$

Угол наклона линии полезной мощности к линии центра вычисляется из выражения

$$\mathrm{tg}\,\alpha_2 = \mathrm{tg}\,\alpha_{s=1} = \frac{r_k''}{x_k'' + r_1^2/x_0}, \quad (2\text{-}26)$$

где $r_k'' = \sigma_1 r_1 + r_2'\sigma_1^2$.

Если пренебречь выражением r_1^2/x_0, то формулы (2-25) и (2-26) примут вид:

$$\mathrm{tg}\,\alpha_{s=\infty} = r_1/x_k'' \text{ и } \mathrm{tg}\,\alpha_{s=1} = r_k''/x_k''.$$

Для построения круговой диаграммы определяются значения основных ее отрезков: тока холостого хода I_0, активной составляющей тока холостого хода I_{0a} и диаметра круговой диаграммы D_a. Длина отрезка в миллиметрах определяется делением соответствующего параметра, выраженного в амперах, на масштаб токов m_A (А/мм). Активная составляющая тока холостого хода определяется по формуле

$$I_{0a} = \frac{\Delta P_{\text{ст}} + m_1 I_0^2 r_1}{m_1 U_\Phi}, \quad (2\text{-}27)$$

где $\Delta P_{\text{ст}}$ — потери в стали статора, Вт; m_1 — число фаз.

На рис. 2-26 показано построение диаграммы.

Треугольник холостого хода $OO'm$ строится по ранее найденным значениям, причем

$$OO' = I_0/m_A.$$

Линия центра круговой диаграммы строится под углом 2ψ, который может быть также найден из формулы

$$\mathrm{tg}\,2\psi = 2I_0 r_1/U_\Phi. \quad (2\text{-}28)$$

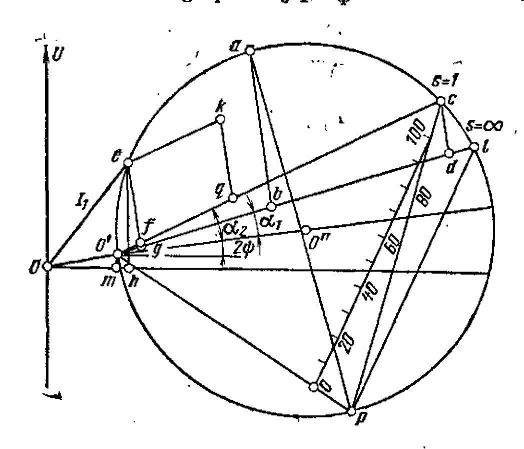


Рис. 2-26. Построение круговой диаграммы.

Радиус круговой диаграммы

$$O'O'' = D_a/2m_A.$$

Линия электромагнитных моментов проводится под углом $\alpha_{s=\infty}$ к линии центра, а линия полезной мощности проводится из той же точки O' под углом $\alpha_{s=1}$ к линии центра.

Согласно круговой диаграмме отрезок ab соответствует максимальному моменту; cd — пусковому моменту; ef — полезной мощности и механическим потерям; fg — потерям в роторе; отрезок eg, проводимый перпендикулярно линии центра,— электромагнитному моменту; eh, проводимый перпендикулярно оси абсцисс,— забираемой из сети активной мощности (для двигательного режима и режима торможения противовключением).

Масштаб мощности, Вт/мм,

$$m_P = m_1 U_\Phi m_A,$$

масштаб моментов, Н·м/мм,

$$m_M = 9{,}55 m_P/n_c,$$

где n_c — синхронная частота вращения.

Определение основных данных двигателя и построение механических характеристик по круговым диаграммам осуществляются в такой последовательности. Точку на окружности круговой диаграммы, соответствующую заданной полезной мощности P_2, определяют следующим образом. На перпендикуляре к линии центра от линии мощности откладывается отрезок, равный с учетом добавочных потерь:

$$kq = (P_2 + \Delta P_{\text{мех}} + 0{,}005P_1)/m_P. \quad (2\text{-}29)$$

Через точку k параллельно линии мощности проводится прямая до пересечения с окружностью круговой диаграммы. Точка пересечения e и будет искомой точкой. Затем графическим путем определяют ток статора, А, приведенный ток ротора, А, и $\cos\varphi$:

$$I_1 = Oe \cdot m_A; \quad I_2'' = O'e \cdot m_A; \quad \cos\varphi = eh/Oe.$$

Далее аналитическим путем находят все остальные параметры: потребляемая из сети мощность

$$P_1 = m_1 U_ф I_1 \cos\varphi;$$

электрические потери в обмотке статора

$$\Delta P_{э1} = m_1 I_1^2 r_1;$$

электрические потери в обмотке ротора

$$\Delta P_{э2} = m_1 I_2''^2 r_2'';$$

добавочные потери

$$\Delta P_{доб} = 0{,}005 P_1;$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_{э1} + \Delta P_{э2} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + 0{,}005 P_1}{P_1}. \qquad (2\text{-}30)$$

Действительный ток ротора

$$I_2 = I_2'' \sigma_1 \frac{w_1 k_{об1}}{w_2 k_{об2}}, \qquad (2\text{-}31)$$

где w_1, w_2, $k_{об1}$ и $k_{об2}$ — числа витков и обмоточные коэффициенты обмоток статора и ротора.

Скольжение определяется по формуле

$$s = (\Delta P_{э2} + \Delta P_{щ})/(P_2 + \Delta P_{э2} + \Delta P_{щ}), \qquad (2\text{-}32)$$

где переходные потери в щеточном контакте $\Delta P_{щ} = 1{,}2\, I_2$, Вт, определяются по действительному значению тока фазного ротора, А.

Момент на валу двигателя, Н·м,

$$M = 9550 P_2/n, \qquad (2\text{-}33)$$

где P_2 — мощность на валу, кВт; n — частота вращения, об/мин,

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s) = n_c(1 - s),$$

здесь p — число пар полюсов; f — частота, Гц.

Скольжение можно также определить графически по круговой диаграмме. Для этого на окружности круговой диаграммы (рис. 2-26) произвольно выбирают точку — полюс p, которую лучами соединяют с точкой холостого хода O', точкой короткого замыкания c и с точкой l, где скольжение равно бесконечности. Параллельно линии, соединяющей p с l, проводят линию, отрезок которой, заключенный между $O'p$ и pc, делят на десять равных частей. Этот отрезок является шкалой скольжения в процентах. Для нахождения скольжения достаточно соединить линией искомую точку на круговой диаграмме и точку p. Например, для точки a скольжение равно 17%.

Максимальный (критический) момент, Н·м, определяется из выражения

$$M_к = 0{,}079 \frac{m U_ф^2 p}{f\left(r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_к^2}\right)}, \qquad (2\text{-}34)$$

где $x_k = x_1 + x_1^2/x_0 + x_2''$.

Мощность двигателя, кВт, потребляемая из сети, вычисляется по формуле

$$P_1 = \sqrt{2}\, \pi m I_1 \Phi f w_1 k_{об1} \cos\varphi,$$

где Φ — магнитный поток двигателя, Вб; $\cos\varphi = R_{экв}/z_{экв}$; $R_{экв}$ и $z_{экв}$ — активное и полное сопротивления схемы замещения; обмоточный коэффициент $k_{об1}$ обычно равен 0,8—0,88.

Поток двигателя может быть найден из выражения

$$\Phi = \frac{U_ф - I_1 r_1}{4{,}44 f w_1 k_{об1}}. \qquad (2\text{-}35)$$

Выражение расчетной (внутренней) мощности асинхронного двигателя в зависимости от геометрических размеров имеет вид:

$$P_i = \frac{\pi^2 k_{об1}}{60\sqrt{2}} D^2 l n A B_\delta, \qquad (2\text{-}36)$$

где D — внутренний диаметр статора, см; l — эффективная длина пакета, см; A — линейная нагрузка, А/см; B_δ — индукция в воздушном зазоре, Тл.

Расчетная (внутренняя) мощность двигателя выражается также в виде

$$P_i = P_2/\sigma_1 \eta \cos\varphi, \qquad (2\text{-}37)$$

где σ_1 — первичный коэффициент рассеяния, для односкоростных двигателей лежит в пределах 1,03—1,07.

Значения к. п. д. приводятся в каталогах на двигатели.

Коэффициент мощности крановых двигателей обычно лежит в пределах 0,68—0,78, в среднем 0,72 для двигателей с фазным ротором и 0,76 — с короткозамкнутым.

Магнитная индукция в воздушном зазоре в крановых двигателях значительно выше, чем в двигателях общего применения, и находится в пределах 0,8—0,95 Тл.

Значения фактора нагрева AI_a для крановых двигателей: 2500—3000 для статора с классом изоляции F, 2800—3400 для статора с классом изоляции H; 1050—1250 и 1150—1350 для ротора с классом изоляции F и H.

Линейная нагрузка статора по мере роста внутреннего диаметра увеличивается с 300 до 400 А/см для статора и со 170 до 300 А/см для ротора, а плотность тока в обмотке с классом изоляции H равна 11—8 А/мм² для статора и 8—6 А/мм² для ротора при ПВ=40% при внешней самовентиляции; для двигателей с классом изоляции F соответствующие значения уменьшаются на 10—15%.

При выбранном стандартизированном внешнем диаметре D_s статора определяют внутренний диаметр статора D из соотношения $D = D_s/k$.

Значения коэффициента k в зависимости от числа полюсов $2p$ лежат в следующих пределах:

$2p$	4	6	8	10
k	1,59—1,56	1,43—1,40	1,39—1,33	1,33—1,30

Окончательный выбор длины и внутреннего диаметра статора определяется отношением $\lambda = l_a/D$, которое составляет 0,75—1,25.

б) Потери энергии и тепловые параметры электродвигателей

Потери энергии в электродвигателе определяют расход энергии и к. п. д. двигателя, от распределения потерь в двигателе зависит нагрев его различных частей.

Электрические потери, Вт, в обмотке статора

$$\Delta P_{э1} = 3I_1^2 r_1. \qquad (2\text{-}38)$$

Потери, Вт, в обмотке ротора определяются по одной из формул:

$$\Delta P_{э2} = 3I_2^2 r_2; \qquad (2\text{-}39)$$

$$\Delta P_{э2} = 3I_2^{''2} r_2^{''}; \qquad (2\text{-}40)$$

$$\Delta P_{э2} = \frac{Mn_c s}{9{,}55}, \qquad (2\text{-}41)$$

где I_2 — действительный ток фазы трехфазного ротора, А; r_2 — действительное активное сопротивление фазы трехфазного ротора, Ом; I_2'' — приведенный ток ротора, А; r_2'' — приведенное сопротивление фазы ротора, Ом.

Потери по (2-41) включают переходные потери в щеточном контакте для двигателей с фазным ротором, которые можно подсчитать по отдельной формуле

$$\Delta P_{щ} = 3 \cdot 0{,}4 I_2 = 1{,}2 I_2. \qquad (2\text{-}42)$$

Добавочные потери, Вт, принимают равными 0,5% потребляемой из сети мощности:

$$\Delta P_{доб} = 0{,}005 P_1.$$

Потери, Вт, в стали статора на перемагничивание и вихревые токи практически не зависят от нагрузки двигателя:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{стa} + \Delta P_{стz},$$

где

$$\Delta P_{стa} = k_0 p_{1,0} B_a^2 G_a \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3}; \qquad (2\text{-}43)$$

$$\Delta P_{стz} = k_0'' p_{1,0} B_z^2 G_z \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3}; \qquad (2\text{-}44)$$

здесь k_0 и k_0'' — коэффициенты, зависящие от характера обработки стали; $p_{1,0}$ — удельные потери в стали при 1,0 Тл, Вт/кг; B_a и B_z — индукция в ярме и зубцах статора, Тл; G_a и G_z — масса ярма и зубцов статора, кг; f — частота перемагничивания, Гц.

Потерями в стали ротора пренебрегают.

Механические потери (на трение в подшипниках и щеток о кольца, вентиляционные потери) берутся обычно на основании опыта по подобным машинам и также практически не зависят от нагрузки двигателя.

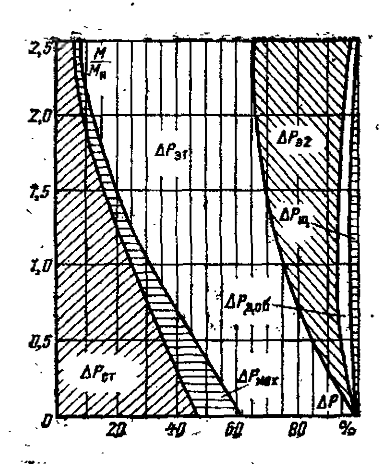


Рис. 2-27. Распределение потерь в крановом асинхронном двигателе в зависимости от крутящего момента.

На рис. 2-27 показано распределение потерь в зависимости от момента в двигателе с фазным ротором мощностью около 30 кВт. При этом условно принималось, что изменения сопротивления обмоток при кратковременном изменении нагрузки не происходит, в том числе при холостом ходе двигателя. В двигателях меньшей мощности несколько возрастает доля электрических и механических потерь, в двигателях большей мощности при общем росте к. п. д. доля потерь в стали уменьшается.

Усредненные значения потерь в двигателях серии MTF и MTH для ПВ=40% приведены в табл. 2-29, потери в стали даны для марки 1213 (Э13).

Таблица 2-29

Потери в электродвигателях серий MTF и MTH при ПВ=40% (для номинальной нагрузки)

Тип двигателя	Число полюсов	Потери в стали, Вт	Потери в меди статора, Вт	Потери в меди ротора, Вт	Механические потери, Вт
MTF011	6	100	535	215	60
MTF012		140	515	275	60
MTF(H)111		180	755	415	150
MTF(H)112		250	990	525	160
MTF(H)211		340	875	510	180
MTF(H)311		410	1170	625	200
MTF(H)312		549	1240	655	220
MTF(H)411		750	1490	800	360
MTF(H)412		970	1440	665	380
MTH512		1450	2480	1970	500
MTF(H)311	8	320	1120	640	180
MTF(H)312		520	1550	785	200
MTF(H)411		630	1350	685	280
MTF(H)412		840	2030	1050	300
MTH511		950	2550	1120	350
MTH512		1190	2430	1610	360
MTH611	10	1370	3390	1990	400
MTH612		1950	3660	2240	400
MTH613		2270	4240	2490	400
MTH711		1660	3200	2720	1000
MTH712		2360	3230	2540	1000
MTH713		2950	3410	2570	1000

При ПВ=40% удельные суммарные потери на единицу наружной поверхности закрытого обдуваемого двигателя с короткозамкнутым ротором составляют около 3000 Вт/м², а двигателя с фазным ротором — на 15% меньше.

При кратковременных режимах работы (менее 30 мин) превышение температуры, °C, равно:

для меди обмотки статора

$$\Theta_{м1} = k' k'' \frac{J_1^2}{280} t, \qquad (2\text{-}45)$$

где J_1 — плотность тока, А/мм²; t — время нахождения под током, с; k' — находится по рис. 2-28; $k''=1$ — для однообмоточных двигателей; $k''=0{,}75$ — для двигателей с двумя обмотками из провода марки ПСДК, ПСДКТ и т. п.; $k''=0{,}65$ — для двигателей с двумя обмотками из эмалированного провода марки ПЭТ 200 и т. п.,

для меди обмотки короткозамкнутого ротора

$$\Theta_{м2} = \frac{P_{э2}}{A_2 k_{\alpha 2} 60} t, \qquad (2\text{-}46)$$

где $k_{\alpha 2}$ — коэффициент теплоотдачи (рис. 2-29);

$$A_2 = m_{м2}c_{м2} + 0{,}7m_{ст2}\,c_{ст}\,k_{ст2}, \qquad (2\text{-}47)$$

здесь $m_{м2}$ — масса меди обмотки короткозамкнутого ротора, кг; $m_{ст2}$ — масса стального пакета ротора, кг; соотношения между общей массой ротора m_2 (см. табл. 2-12) и ее составляющими: $m_{об2}=(0{,}05\div0{,}03)m_2$ для алюминиевого сплава, $m_{ст2}=0{,}8m_2$; $c_{ст}$ — теплоемкость стали, 475 Дж/(кг·°С); $c_{м2}$ — теплоемкость материала

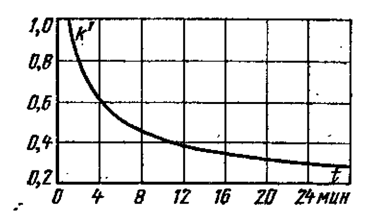


Рис. 2-28. Значения коэффициента k'.

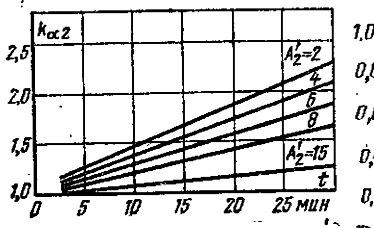


Рис. 2-29. Значения коэффициента $k_{\alpha 2}$ для короткозамкнутого ротора при различных теплоемкостях A_2 двигателей.

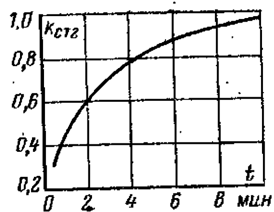


Рис. 2-30. Значения коэффициента $k_{ст2}$.

[для меди или латуни 390 Дж/(кг·°С), для алюминиевого сплава 880 Дж/(кг·°С)]; $k_{ст2}$ — коэффициент, учитывающий влияние стали в процессе нагрева (рис. 2-30).

Значения $\Theta_{м2}$ не рекомендуется допускать выше 220° С.

Постоянные времени нагрева T обмоток статора и ротора закрытых двигателей близки между собой и сильно зависят от внешнего обдува двигателей. Значения T приведены в табл. 2-30 для закрытых обдуваемых двигателей. Без внешнего обдува значения T уменьшаются в 2,5—3 раза.

Таблица 2-30

Постоянные времени нагрева закрытых обдуваемых крановых электродвигателей переменного тока

Режим нагрева, мин	Масса электродвигателя, кг	Постоянная времени нагрева, с
≤3	50—100 100—220 220—600 600—2000	200 300 500 800
10—20	50—100 100—220 220—600 600—2000	600 1000 1600 2700
20—60	50—100 100—220 220—600 600—2000	1000 1800 3000 4800

в) Работа крановых короткозамкнутых электродвигателей в системах частотного регулирования

Соотношения между основными габаритными размерами двигателей определяются главным образом режимом работы электроприводов и в меньшей степени методом регулирования, поэтому серию двигателей для частотного регулирования целесообразно строить с сохранением основных соотношений, принятых для машин повторно-кратковременного и кратковременного режимов работы и обычных методов регулирования. Снижение потерь в двигателях при частотном регулировании, особенно в переходных режимах, и возможность значительного увеличения максимального момента позволяют переходить на большие номинальные частоты вращения и получить наилучшие массогабаритные показатели. Так, в системах только с частотным регулированием (ЧР) удельная масса двигателя составляет около 10 кг/кВт, т. е. почти в 2 раза меньше, чем у полюсно-переключаемого двигателя. Тот же показатель для двухскоростных двигателей в системе комбинированного управления с зоной частотного регулирования (КЧР) (см. разд. 10) составляет около 14 кг/кВт.

Исходя из оптимизации по минимуму потерь для электроприводов повторно-кратковременного режима работы S3 и по обеспечению максимума момента (регулирование по постоянству потока) для приводов кратковременного режима S2, следует выделить следующие особенности двигателей для систем ЧР:

1) при режиме работы S3 оптимальная частота вращения двигателей составляет 1900—1800 об/мин для легкого и среднего режимов, снижаясь до 1000—600 об/мин для тяжелого режима работы и больших приведенных моментов инерции;

2) при режиме работы S3 четырехполюсного двигателя с преобразователями инверторного типа оптимальная частота питания составляет 50—60 Гц, двигатели должны быть работоспособны при повышении частоты в 1,5—2 раза и номинальном напряжении при соответствующем снижении нагрузки; для приводов с преобразователями непосредственного типа выходная частота не превышает 25 Гц при частоте сети 50 Гц, поэтому целесообразно в ряде случаев применять двигатели с $2p=2$; для режимов работы S2 выбираются двигатели с $2p=4$ и $2p=6$;

3) для систем ЧР обмотка ротора двигателя выполняется медной с целью получения минимального скольжения и снижения потерь;

4) возможно выполнение двигателей на нестандартное напряжение, соответствующее выходному напряжению преобразователя частоты;

5) использование активных частей двигателей можно повысить, например, увеличением индукции в воздушном зазоре на 20—25% путем повышения напряжения на стандартном двигателе; при этом эквивалентный к. п. д. двигателя повышается, а для улучшения $\cos\varphi$ напряжение на двигателе должно обеспечиваться при минимальном угле открывания тиристоров преобразователя;

6) снижение индуктивности рассеивания ротора за счет открытия пазов, отказа от скоса пазов и пр. увеличивает перегрузочную способность двигателей и в целом приводит к снижению потерь в стали;

7) для режима работы S2 двигатели большой мощности в ряде случаев выполняют в шестифазном испол-

нении, что позволяет оптимально решить вопросы построения преобразователей.

Особенности двигателей для систем КЧР:

1) оптимальное разграничение зон регулирования позволяет увеличить мощность асинхронных двигателей в 1,5—1,8 раза при сохранении габаритов;

2) увеличение мощности требует соответствующего увеличения объема обмоток машины;

3) при полюсно-переключаемом исполнении соотношения числа полюсов обмоток статора выбираются исходя из максимального использования меди обмоток с учетом режима работы привода; наличие зоны частотного регулирования позволяет исключить тихоходную обмотку (в многоскоростных двигателях), значительно снизить потери в зоне малых скоростей и увеличить снимаемую мощность.

Технические данные ряда разработанных двигателей для систем ЧР и КЧР приведены в табл. 2-31.

Таблица 2-31

Технические данные электродвигателей для систем частотного регулирования

Тип двигателя	Частота сети, Гц	Число полюсов	Фазное напряжение, В	Мощность, кВт	Режим работы ПВ, %	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	cos φ	Максимальный момент, Н·м	Пусковой момент, Н·м	Пусковой ток, А	Маховой момент ротора, кг·м²
МАП521	50	4	140	50,0	40	1440	140	0,93	1080	735	1000	2,4
МАП422	50	4	220	10,0	40	1410	21	0,86	235	210	143	0,8
	50	12	220	3,5	15	445	17	0,54	215	215	40	
МАП622	50	4	220	52,0	40	1380	102	0,93	882	795	550	6,0
	50	8	220	30,0	40	690	84	0,69	1050	903	340	
	20	8	220	8,6	25	210	29	0,80	834	795	75	

г) Серии MTF и MTH асинхронных крановых и металлургических электродвигателей

Крановые двигатели с классом нагревостойкости F обозначаются буквами MTF (с фазным ротором) и MTKF (с короткозамкнутым ротором). Металлургические двигатели с классом нагревостойкости H обозначаются MTH или MTKH (соответственно с фазным или короткозамкнутым ротором).

Двигатели серий MTF, MTKF и MTH, MTKH соответствуют ГОСТ 185-70 с учетом изменений № 1 и 2, оформленных в 1972 и 1975 гг. Серии построены на восьми диаметрах, имеют семнадцать исполнений с фазным ротором и одиннадцать — с короткозамкнутым ротором. Двигатели характеризуются повышенной перегрузочной способностью, большими пусковыми моментами при сравнительно небольших пусковых токах, малым временем разгона.

Основное конструктивное исполнение — горизонтальное на лапах с одним концом вала (М101). По заказу двигатели могут выполняться с двумя одинаковыми концами вала. Двигатели нулевого, первого, второго и третьего габаритов имеют также исполнения М301 и М302, двигатели четвертого и пятого габаритов — исполнения М201 и М202.

Коробка выводов статорной обмотки расположена на верхней части станины и имеет с левой и правой стороны по одному отверстию для ввода питающих кабелей. Выводные концы обмотки статора имеют кабельные наконечники для присоединения кабелей питающей сети. Двигатели на одно напряжение (500, 440 и 400 В) имеют обмотку статора, соединенную в звезду, и три выводных конца с обозначениями С1, С2, С3. Двигатели на два напряжения (380/220 и 415/240 В) имеют обмотку статора с шестью выводными концами, обозначенными по фазам начало—конец: первая фаза С1—С4, вторая С2—С5, третья С3—С6; обмотка может соединяться в звезду или треугольник.

Двигатели присоединяются к механизму муфтой или зубчатой передачей. Минимально допустимый диаметр делительной окружности шестерни, насаженной на конец вала, указан в разд. 2-2, в.

Двигатели MTF и MTKF изготавливаются климатического исполнения У, категории 2; двигатели MTH и MTKH — климатического исполнения У, Т и ХЛ, категории 2. По заказу потребителя двигатели с горизонтальным валом изготавливаются категории размещения 1 по ГОСТ 15150-69.

Двигатели всех габаритов изготовляются в закрытом обдуваемом исполнении со степенью защиты IP44. Кроме того, двигатели с фазным ротором пятого—седьмого габаритов имеют защищенное исполнение с независимой вентиляцией.

Двигатели изготавливаются на частоту 50 Гц и напряжения 380/220 и 500 В. Для поставки на экспорт двигатели MTH и MTKH выпускают также на частоту 50 Гц и напряжения 400 и 415/240 В и на 60 Гц, 380/220 и 440 В. Двигатели на частоту сети 50 Гц могут, как правило, включаться в сеть 60 Гц. Частота вращения при этом увеличивается на 20%. Если напряжение сети 60 Гц выше на 20% напряжения сети 50 Гц, то номинальная мощность двигателя может быть увеличена на 10—15%. Кратности пусковых моментов и пусковых токов приближенно можно считать неизменными. Если номинальное напряжение сети с частотой 60 Гц равно номинальному напряжению сети частоты 50 Гц, то повышать номинальную мощность нельзя. В этом случае номинальный момент и значения кратности максимального момента, пускового момента и пускового тока понижаются соответственно отношению частот 50/60, т. е. до 83%.

При колебаниях напряжения сети от номинального значения в пределах от —5 до +10% двигатели должны сохранять номинальную мощность, однако вследствие значительных насыщений магнитной цепи двигателей их не рекомендуется применять для ПВ = 100%.

Основным номинальным режимом является повторно-кратковременный с продолжительностью включения ПВ = 40%. В табл. 2-32 — 2-35 приведены данные при ПВ = 15, 25, 40, 60% — для крановых двигателей и 25, 40, 60, 100% — для металлургических двигателей, а также технические данные кратковременных режимов 30 и 60 мин. Продолжительность рабочего цикла в повторно-кратковременных режимах работы принята равной 10 мин.

В табл. 2-36 указаны требования по охлаждению продуваемых двигателей.

Механические характеристики двигателей на напряжение 380 В и частоту 50 Гц приведены в каталоге 01.06.01-74.

При переходе от одного напряжения к другому (или другой частоте) возможны расхождения номинальных данных отдельных исполнений двигателей от приведенных в табл. 2-32 — 2-35. В частности, на ±5% могут отличаться значения напряжений и токов ротора. Среднее значение тока холостого хода двигателей может составлять более 70% номинального, указанного в табл. 2-32— 2-35. Максимальное значение тока холостого хода может отличаться на ±10% от среднего значения. Поэтому наличие значительной реактивной составляющей тока должно учитываться при питании двигателей от автономных источников питания с ограниченной мощностью.

Таблица 2-32

Технические данные крановых электродвигателей серии MTF с фазным ротором, 50 Гц, 220/380 и 500 В

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при ПВ=15%	ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=60%	30 мин	60 мин	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	К. п. д., %	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами ротора, В	Максимальный момент, Н·м	Маховой момент ротора, кг·м²	Масса двигателя, кг
MTF011-6	2,0	—	—	—	—	—	800	7,1	0,78	55,0	16,5	116	39	0,085	51
	—	1,7	—	—	—	—	850	5,9	0,72	60,0	12,0				
	—	—	1,4	—	1,4	—	885	5,3	0,65	61,5	9,1				
	—	—	—	1,2	—	1,2	910	5,1	0,59	60,5	7,5				
MTF012-6	3,1	—	—	—	—	—	785	10,4	0,78	58,0	18,5	144	56	0,115	58
	—	2,7	—	—	—	—	840	8,9	0,74	62,0	15,0				
	—	—	2,2	—	2,2	—	890	7,6	0,68	64,0	11,5				
	—	—	—	1,7	—	1,7	920	7,0	0,57	64,0	8,4				
MTF111-6	4,5	—	—	—	—	—	850	12,9	0,81	66,0	21,0	176	85	0,195	76
	—	4,1	—	—	—	—	870	11,7	0,79	68,0	18,7				
	—	—	3,5	—	3,5	—	895	10,4	0,73	70,0	15,0				
	—	—	—	2,8	—	2,8	920	9,1	0,65	72,0	11,5				
MTF112-6	6,5	—	—	—	—	—	895	17,5	0,78	72,0	21,8	216	137	0,270	88
	—	5,8	—	—	—	—	915	16,0	0,74	74,0	19,0				
	—	—	5,0	—	5,0	—	930	14,4	0,70	75,0	15,7				
	—	—	—	4,0	—	4,0	950	13,2	0,62	74,0	12,0				
MTF211-6	10,5	—	—	—	—	—	895	27,5	0,78	74,0	30,0	256	191	0,460	120
	—	9,0	—	—	—	—	915	24,0	0,74	77,0	25,0				
	—	—	7,5	—	7,5	—	930	21,0	0,70	77,0	19,8				
	—	—	—	6,0	—	6,0	945	18,5	0,63	78,0	15,5				
MTF311-6	14,0	—	—	—	—	—	925	37,0	0,76	75,5	56,0	172	314	0,900	170
	—	13,0	—	—	—	—	935	34,5	0,74	77,0	51,0				
	—	—	11,0	—	11,0	—	945	30,5	0,69	79,0	42,0				
	—	—	—	9,0	—	9,0	960	28,0	0,63	77,0	34,0				
MTF312-6	19,5	—	—	—	—	—	945	46,5	0,80	80,0	61,0	219	471	1,250	210
	—	17,5	—	—	—	—	950	42,5	0,77	81,0	54,0				
	—	—	15,0	—	15,0	—	955	38,0	0,73	82,0	46,0				
	—	—	—	12,0	—	12,0	965	34,0	0,66	81,0	36,0				
MTF411-6	30,0	—	—	—	—	—	945	69,5	0,80	82,0	86,0	235	638	2,000	280
	—	27,0	—	—	—	—	955	64,0	0,77	83,0	77,0				
	—	—	22,0	—	22,0	—	965	55,0	0,73	83,5	60,0				
	—	—	—	18,0	—	18,0	970	49,0	0,67	83,0	49,0				
MTF412-6	40,0	—	—	—	—	—	960	94,0	0,77	84,0	100,0	255	932	2,700	345
	—	36,0	—	—	—	—	965	86,0	0,75	84,5	88,0				
	—	—	30,0	—	30,0	—	970	75,0	0,71	85,5	73,0				
	—	—	—	25,0	—	25,0	975	70,0	0,65	83,5	61,0				
MTF311-8	10,5	—	—	—	—	—	665	29,0	0,78	71,0	32,0	245	265	1,100	170
	—	9,0	—	—	—	—	680	25,6	0,74	72,0	26,0				
	—	—	7,5	—	7,5	—	695	22,8	0,68	73,0	21,0				
	—	—	—	6,0	—	6,0	710	21,0	0,60	72,0	16,0				
MTF312-8	15,0	—	—	—	—	—	680	37,5	0,80	76,0	63,0	165	422	1,550	210
	—	13,0	—	—	—	—	695	34,0	0,76	76,5	53,0				
	—	—	11,0	—	11,0	—	705	30,5	0,71	77,0	43,0				
	—	—	—	8,2	—	8,2	720	27,0	0,61	75,5	32,0				
MTF411-8	22,0	—	—	—	—	—	685	56,0	0,76	78,0	76,0	206	569	2,150	280
	—	18,0	—	—	18,0	—	700	46,7	0,73	80,0	59,0				
	—	—	15,0	—	—	15,0	710	42,0	0,67	81,0	48,8				
	—	—	—	13,0	—	—	715	38,5	0,63	81,0	42,0				
MTF412-8	30,0	—	—	—	—	—	705	78,5	0,71	81,0	80,5	248	883	3,000	345
	—	26,0	—	—	26,0	—	715	71,0	0,68	82,0	68,0				
	—	—	22,0	—	—	22,0	720	65,0	0,63	82,0	57,0				
	—	—	—	18,0	—	—	730	59,5	0,56	81,0	46,0				

Таблица 2-33

Технические данные крановых электродвигателей серии MTKF с короткозамкнутым ротором, 50 Гц, 220/380 и 500 В

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при ПВ=15%	ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=60%	30 мин	60 мин	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	К. п. д., %	Максимальный момент, Н·м	Пусковой момент, Н·м	Пусковой ток при 380 В, А	Маховой момент ротора, кг·м²	Масса двигателя, кг
MTKF011-6	2	—	—	—	—	—	780	6,7	0,81	56,0	41	41	15	0,08	47
	—	1,7	—	—	—	—	835	5,8	0,74	60,0					
	—	—	1,4	—	1,4	—	875	5,2	0,66	61,5					
	—	—	—	1,2	—	1,2	900	4,9	0,61	61,0					
MTKF012-6	3,1	—	—	—	—	—	785	9,3	0,82	61,5	66	66	22	0,11	53
	—	2,7	—	—	—	—	835	8,2	0,77	65,0					
	—	—	2,2	—	2,2	—	880	7,2	0,69	67,0					
	—	—	—	1,7	—	1,7	915	6,6	0,60	65,0					
MTKF111-6	4,5	—	—	—	—	—	825	12,0	0,85	67,0	103	102	35	0,18	70
	—	4,1	—	—	—	—	850	10,9	0,83	69,0					
	—	—	3,5	—	3,5	—	885	9,4	0,79	72,0					
	—	—	—	2,8	—	2,8	915	8,2	0,71	73,0					
MTKF112-6	6,5	—	—	—	—	—	845	17,2	0,83	69,5	172	172	53	0,26	80
	—	5,8	—	—	—	—	870	15,5	0,80	71,0					
	—	—	5,0	—	5,0	—	895	13,8	0,74	74,0					
	—	—	—	4,0	—	4,0	920	12,5	0,65	74,0					
MTKF211-6	10,5	—	—	—	—	—	800	28,3	0,83	68,0	216	206	78	0,44	110
	—	9,0	—	—	—	—	840	23,2	0,81	72,5					
	—	—	7,5	—	7,5	—	880	19,5	0,77	75,5					
	—	—	—	6,0	—	6,0	910	16,9	0,69	78,0					
MTKF311-6	14,0	—	—	—	—	—	880	34,0	0,82	76,0	382	373	130	0,85	155
	—	13,0	—	—	—	—	895	32,3	0,80	76,5					
	—	—	11,0	—	11,0	—	910	28,5	0,76	77,5					
	—	—	—	9,0	—	9,0	930	25,5	0,69	77,5					
MTKF312-6	19,5	—	—	—	—	—	900	45,0	0,83	79,0	589	579	205	1,20	195
	—	17,5	—	—	—	—	915	40,5	0,82	80,0					
	—	—	15,0	—	15,0	—	930	36,0	0,78	81,0					
	—	—	—	12,0	—	12,0	945	31,5	0,71	81,0					
MTKF411-6	30,0	—	—	—	—	—	905	67,0	0,85	80,0	765	706	275	1,90	255
	—	27,0	—	—	—	—	915	61,0	0,83	81,0					
	—	—	22,0	—	22,0	—	935	51,0	0,79	82,5					
	—	—	—	18,0	—	18,0	950	45,5	0,73	82,5					
MTKF412-6	40,0	—	—	—	—	—	910	88,0	0,84	81,5	981	932	380	2,55	315
	—	36,0	—	—	—	—	920	81,0	0,82	82,5					
	—	—	30,0	—	30,0	—	935	70,0	0,78	83,5					
	—	—	—	25,0	—	25,0	950	62,5	0,73	81,5					
MTKF311-8	10,5	—	—	—	—	—	660	27,0	0,81	73,0	324	314	95	1,10	155
	—	9,0	—	—	—	—	670	24,0	0,77	74,0					
	—	—	7,5	—	7,5	—	690	21,8	0,71	73,5					
	—	—	—	6,0	—	6,0	705	19,8	0,62	73,5					
MTKF312-8	15,0	—	—	—	—	—	675	35,3	0,83	78,0	500	461	150	1,55	195
	—	13,0	—	—	—	—	690	31,8	0,79	78,5					
	—	—	11,0	—	11,0	—	700	29,0	0,74	78,0					
	—	—	—	8,2	—	8,2	710	26,0	0,63	76,0					
MTKF411-8	22,0	—	—	—	—	—	660	54,0	0,81	76,5	657	638	185	2,15	255
	—	18,0	—	—	18,0	—	680	45,0	0,77	78,5					
	—	—	15,0	—	—	15,0	695	40,0	0,71	80,0					
	—	—	—	13,0	—	—	705	36,5	0,67	81,0					
MTKF412-8	30,0	—	—	—	—	—	675	74,0	0,78	79,0	981	932	295	3,00	315
	—	26,0	—	—	26,0	—	690	66,0	0,75	80,0					
	—	—	22,0	—	—	22,0	700	60,0	0,69	80,5					
	—	—	—	18,0	—	—	710	54,0	0,63	80,0					

Таблица 2-34

Технические данные металлургических электродвигателей серии МТН с фазным ротором, 50 Гц, 220/380, 240/415, 400 и 500 В

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=60%	ПВ=100%	30 мин	60 мин	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	К. п. д., %	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами ротора, В	Максимальный момент, Н·м	Маховой момент ротора, кг·м²	Масса двигателя, кг
МТН111-6	3,5	—	—	—	—	—	870	11,6	0,72	64,0	16,5	176	83	0,19	76
	—	3,0	—	—	3,0	—	895	10,5	0,67	65,0	13,2				
	—	—	2,5	—	—	2,5	920	9,8	0,60	65,0	10,8				
	—	—	—	2,0	—	—	940	9,2	0,52	63,0	8,5				
МТН112-6	5,3	—	—	—	—	—	885	15,3	0,76	69,0	19,0	203	118	0,27	88
	—	4,5	—	—	4,5	—	910	13,9	0,71	69,0	15,6				
	—	—	3,6	—	—	3,6	930	12,6	0,64	68,0	12,2				
	—	—	—	3,0	—	—	945	12,1	0,58	65,0	10,0				
МТН211-6	8,2	—	—	—	—	—	900	24,6	0,70	72,0	23,0	236	196	0,46	120
	—	7,0	—	—	7,0	—	920	22,5	0,64	73,0	19,5				
	—	—	5,6	—	—	5,6	940	21,5	0,56	72,0	14,7				
	—	—	—	4,2	—	—	955	19,5	0,47	69,0	10,7				
МТН311-6	13,0	—	—	—	—	—	925	35,0	0,74	76,0	51,0	172	314	0,90	170
	—	11,0	—	—	11,0	—	940	31,5	0,69	78,0	42,0				
	—	—	9,0	—	—	9,0	955	28,5	0,63	76,0	34,0				
	—	—	—	7,0	—	—	965	26,5	0,55	73,0	25,5				
МТН312-6	17,5	—	—	—	—	—	945	43,0	0,77	80,0	54,0	219	471	1,25	210
	—	15,0	—	—	15,0	—	950	38,5	0,73	81,0	46,0				
	—	—	12,0	—	—	12,0	960	34,5	0,66	80,5	36,0				
	—	—	—	9,0	—	—	965	31,5	0,57	76,0	26,5				
МТН411-6	27,0	—	—	—	—	—	950	65,0	0,77	82,0	77,0	235	638	2,00	280
	—	22,0	—	—	22,0	—	960	55,5	0,73	82,5	60,0				
	—	—	18,0	—	—	18,0	965	50,0	0,67	82,0	49,0				
	—	—	—	14,0	—	—	975	46,0	0,57	80,5	38,0				
МТН412-6	36,0	—	—	—	—	—	955	87,0	0,75	83,5	88,0	255	932	2,70	345
	—	30,0	—	—	30,0	—	965	76,0	0,71	84,5	73,0				
	—	—	25,0	—	—	25,0	970	69,5	0,65	84,0	61,0				
	—	—	—	18,0	—	—	980	60,5	0,55	82,0	42,0				
МТН512-6	65,0	—	—	—	65,0	—	955	137,0	0,82	88,0	130,0	340	1630	4,10	520
	—	55,0	—	—	—	55,0	960	120,0	0,79	88,0	105,0				
	—	—	44,0	—	—	—	970	99,0	0,76	89,0	86,0				
	—	—	—	33,0	—	—	980	85,0	0,67	88,0	63,0				
МТН611-6	85,0	—	—	—	85,0	—	940	175,0	0,86	86,0	204,0	270	2610	13,10	810
	—	75,0	—	—	—	75,0	950	154,0	0,85	87,0	180,0				
	—	—	58,0	—	—	—	960	127,0	0,80	87,0	140,0				
	—	—	—	45,0	—	—	970	107,0	0,74	86,0	108,0				
МТН612-6	112	—	—	—	112	—	950	225,0	0,86	88,0	207,0	366	3580	16,50	930
	—	95	—	—	—	95	960	193,0	0,85	88,0	176,0				
	—	—	80	—	—	—	965	171,0	0,81	88,0	148,0				
	—	—	—	60	—	—	975	140,0	0,75	87,0	111,0				
МТН613-6	140	—	—	—	140	—	955	278,0	0,86	89,0	190,0	473	4660	20,40	1100
	—	118	—	—	—	118	960	237,0	0,84	90,0	160,0				
	—	—	94	—	—	—	965	198,0	0,80	90,0	128,0				
	—	—	—	70	—	—	970	164,0	0,73	89,0	95,0				
МТН311-8	9,0	—	—	—	—	—	675	26,1	0,74	70,5	26,0	245	265	1,10	170
	—	7,5	—	—	7,5	—	690	23,4	0,68	71,5	21,0				
	—	—	6,0	—	—	6,0	705	21,3	0,60	71,0	16,0				
	—	—	—	4,5	—	—	715	19,5	0,50	69,5	12,0				

Продолжение табл. 2-34

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при						Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	К. п. д., %	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами ротора, В	Максимальный момент, Н·м	Маховой момент ротора, кг·м²	Масса двигателя, кг
	ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=60%	ПВ=100%	30 мин	60 мин									
МТН312-8	13,0	—	—	—	—	—	690	34,7	0,74	77,0	53,0	165	422	1,25	210
	—	11,0	—	—	11,0	—	700	31,0	0,69	78,0	43,0				
	—	—	8,2	—	—	8,2	715	27,5	0,58	78,0	32,0				
	—	—	—	6,0	—	—	725	25,0	0,49	74,0	24,0				
МТН411-8	18	—	—	—	—	—	695	48,0	0,73	78,0	59,0	206	569	2,15	280
	—	15	—	—	15	—	705	43,0	0,67	79,0	48,8				
	—	—	13	—	—	13	710	39,8	0,63	79,0	42,0				
	—	—	—	10	—	—	720	35,6	0,55	77,5	31,5				
МТН412-8	26	—	—	—	—	—	710	72,0	0,68	80,5	68,0	248	883	3,00	345
	—	22	—	—	22	—	715	66,0	0,63	80,5	57,0				
	—	—	18	—	—	18	725	61,0	0,56	80,0	46,0				
	—	—	—	13	—	—	730	55,0	0,46	78,0	33,0				
МТН511-8	34	—	—	—	34	—	695	82,0	0,77	82,0	81,0	281	1000	4,30	470
	—	28	—	—	—	28	705	71,0	0,72	83,0	64,0				
	—	—	23	—	—	—	715	63,0	0,66	84,0	57,0				
	—	—	—	18	—	—	725	57,0	0,58	83,0	41,0				
МТН512-8	45	—	—	—	45	—	695	104,0	0,79	83,0	94,0	305	1370	5,70	570
	—	37	—	—	—	37	705	89,0	0,74	85,0	77,0				
	—	—	31	—	—	—	715	79,0	0,69	86,0	63,0				
	—	—	—	25	—	—	725	70,0	0,63	86,0	50,0				
МТН611-10	53	—	—	—	53	—	560	128,0	0,76	83,0	185,0	185	2320	17,00	900
	—	45	—	—	—	45	570	112,0	0,72	84,0	154,0				
	—	—	36	—	—	—	575	98,0	0,66	85,0	123,0				
	—	—	—	28	—	—	580	90,0	0,56	85,0	94,0				
МТН612-10	70	—	—	—	70	—	560	165,0	0,77	84,0	181,0	248	3140	21,00	1070
	—	60	—	—	—	60	565	147,0	0,78	85,0	154,0				
	—	—	48	—	—	—	575	125,0	0,68	86,0	120,0				
	—	—	—	35	—	—	580	108,0	0,58	85,0	88,0				
МТН613-10	90	—	—	—	90	—	570	207,0	0,76	87,0	179,0	320	4120	25,00	1240
	—	75	—	—	—	75	575	180,0	0,72	88,0	145,0				
	—	—	60	—	—	—	580	157,0	0,66	88,0	114,0				
	—	—	—	40	—	—	585	132,0	0,53	87,0	76,0				
МТН711-10	125	—	—	—	125	—	580	287,0	0,74	89,5	294,0	272	4560	41,00	1550
	—	100	—	—	—	100	584	246,0	0,69	89,5	233,0				
	—	—	80	—	—	—	588	216,0	0,63	89,0	180,0				
	—	—	—	65	—	—	592	195,0	0,57	88,5	147,0				
МТН712-10	155	—	—	—	155	—	580	355,0	0,75	88,5	295,0	327	5690	51,00	1700
	—	125	—	—	—	125	585	300,0	0,70	90,3	237,0				
	—	—	100	—	—	—	590	262,0	0,65	89,0	185,0				
	—	—	—	80	—	—	593	235,0	0,58	88,5	146,0				
МТН713-10	200	—	—	—	200	—	582	458,0	0,73	90,5	305,0	408	7310	60,00	1900
	—	160	—	—	—	160	586	392,0	0,68	91,0	244,0				
	—	—	125	—	—	—	590	344,0	0,61	90,3	186,0				
	—	—	—	100	—	—	593	313,0	0,54	89,5	148,0				

Таблица 2-35

Технические данные металлургических электродвигателей серии МТКН с короткозамкнутым ротором, 50 Гц, 220/380, 240/415, 400 и 500 В

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=60%	ПВ=100%	30 мин	60 мин	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	К. п. д., %	Максимальный момент, Н·м	Пусковой момент, Н·м	Пусковой ток при 380 В, А	Маховой момент ротора, кг·м²	Масса двигателя, кг
МТКН111-6	3,5	—	—	—	—	—	890	10,5	0,75	67,5	97	96	32	0,18	70
	—	3,0	—	—	3,0	—	910	9,5	0,70	68,0					
	—	—	2,5	—	—	2,5	930	8,8	0,63	68,0					
	—	—	—	2,0	—	—	945	8,3	0,55	65,5					
МТКН112-6	5,3	—	—	—	—	—	875	14,0	0,81	71,0	155	154	50	0,26	80
	—	4,5	—	—	4,5	—	900	12,7	0,75	71,5					
	—	—	3,6	—	—	3,6	925	11,5	0,66	72,0					
	—	—	—	3,0	—	—	940	10,6	0,60	71,5					
МТКН211-6	8,2	—	—	—	—	—	875	23,2	0,75	71,5	226	216	88	0,44	110
	—	7,0	—	—	7,0	—	895	20,8	0,70	73,0					
	—	—	5,6	—	—	5,6	920	18,5	0,62	74,0					
	—	—	—	4,2	—	—	940	16,5	0,53	73,0					
МТКН311-6	13,0	—	—	—	—	—	895	32,3	0,80	76,5	383	373	130	0,85	185
	—	11,0	—	—	11,0	—	910	28,5	0,76	77,5					
	—	—	9,0	—	—	9,0	930	25,5	0,69	77,5					
	—	—	—	7,0	—	—	945	23,2	0,61	75,0					
МТКН312-6	17,5	—	—	—	—	—	915	40,5	0,82	80,0	589	579	205	1,20	195
	—	15,0	—	—	15,0	—	930	36,0	0,78	81,0					
	—	—	12,0	—	—	12,0	945	31,5	0,71	81,0					
	—	—	—	9,0	—	—	960	28,0	0,61	80,0					
МТКН411-6	27,0	—	—	—	—	—	915	61,0	0,83	81,0	765	706	275	1,90	255
	—	22,0	—	—	22,0	—	935	51,0	0,79	82,5					
	—	—	18,0	—	—	18,0	950	45,5	0,73	82,5					
	—	—	—	14,0	—	—	960	40,0	0,65	81,5					
МТКН412-6	36,0	—	—	—	—	—	920	81,0	0,82	82,5	981	932	380	2,55	315
	—	30,0	—	—	30,0	—	935	70,0	0,78	83,5					
	—	—	25,0	—	—	25,0	950	62,5	0,73	83,0					
	—	—	—	18,0	—	—	965	54,0	0,82	81,5					
МТКН311-8	9,0	—	—	—	—	—	670	24,0	0,77	74,0	324	314	95	1,10	165
	—	7,5	—	—	7,5	—	690	21,8	0,71	73,5					
	—	—	6,0	—	—	6,0	705	19,9	0,62	73,5					
	—	—	—	4,5	—	—	715	18,2	0,51	73,0					
МТКН312-8	13,0	—	—	—	—	—	690	31,8	0,79	78,5	500	461	150	1,55	195
	—	11,0	—	—	11,0	—	700	29,0	0,74	78,0					
	—	—	8,2	—	—	8,2	710	26,0	0,63	76,0					
	—	—	—	6,0	—	—	720	24,3	0,49	76,5					
МТКН411-8	18	—	—	—	—	—	680	45,0	0,77	78,5	657	638	185	2,15	255
	—	15	—	—	15	—	695	40,0	0,71	80,0					
	—	—	13	—	—	13	705	36,5	0,67	81,0					
	—	—	—	10	—	—	715	33,0	0,58	79,5					
МТКН412-8	26	—	—	—	—	—	690	66,0	0,75	80,0	981	932	296	3,00	315
	—	22	—	—	22	—	700	60,0	0,69	80,5					
	—	—	18	—	—	18	710	54,0	0,63	80,0					
	—	—	—	13	—	—	720	49,0	0,52	77,5					
МТКН511-8	34	—	—	—	34	—	680	79,0	0,82	80,0	1128	1128	336	4,30	440
	—	28	—	—	—	28	695	67,0	0,77	83,0					
	—	—	23	—	—	—	705	57,0	0,73	84,0					
	—	—	—	18	—	—	715	49,0	0,67	84,0					
МТКН512-8	45	—	—	—	45	—	680	104,0	0,81	81,0	1470	1390	460	5,70	540
	—	37	—	—	—	37	695	87,0	0,78	83,0					
	—	—	31	—	—	—	705	76,0	0,74	84,0					
	—	—	—	25	—	—	715	64,0	0,70	85,0					

Таблица 2-36

Данные по охлаждению металлургических электродвигателей серии МТН с независимой вентиляцией (продуваемых) с фазным ротором, ПВ=100%

Тип двигателя	Количество продуваемого воздуха, м³/мин	Статический напор, Па
МТН511	12	450
МТН512	14	850
МТН611	17	400
МТН612	20	550

Продолжение табл. 2-36

Тип двигателя	Количество продуваемого воздуха, м³/мин	Статический напор, Па
МТН613	23	750
МТН711	28	350
МТН712	34	500
МТН713	40	700

Таблица 2-37

Обмоточные данные электродвигателей серий MTF и МТН

Часть двигателя, число полюсов	Исполнение двигателя	Тип обмотки	Число пазов	Всего проводов в пазу	Параллельных проводов	Параллельных цепей на фазу	Витков в катушке	Шаг обмотки по пазам	Размер провода, мм	Масса провода, кг	Сопротивление фазы при 20°C, Ом
Статор, $2p=6$	MTF011	Однослойно-двухслойная	45	44	—	—	44*, 22**	1—8; 2—7; 9—15	⌀0,86	2,20	4,200
	MTF012	Однослойно-двухслойная	45	32	—	—	32*, 16**	1—8; 2—7; 9—15	⌀1,00	2,40	2,850
	MTF111	Однослойная	36	32	—	—	32	1—8; 2—7	⌀1,20	3,50	1,520
	MTF112	»	36	48	2	—	24	1—8; 2—7	⌀1,04	4,25	0,930
	MTF211	Однослойно-двухслойная	45	36	2	—	18*, 9**	1—8; 2—7; 9—15	⌀1,30	6,10	0,550
	MTF311	Однослойная	54	33	3	—	11	1—10	⌀1,20	6,10	0,340
	MTF312	»	54	23	—	3	23	1—10	⌀1,40	7,60	0,230
	MTF411	Однослойно-двухслойная	54	44	2	3	22*, 11**	1—9; 2—8	⌀1,20	10,00	0,140
	MTF412	Двухслойная	54	34	—	6	17	1—8	⌀1,40	12,10	0,091
Статор, $2p=8$	MTF311	Однослойная концентрическая	48	33	—	2	33	1—8; 2—7	⌀1,30	6,50	0,560
	MTF312	То же	48	44	2	2	22	1—8; 2—7	⌀1,12	8,02	0,310
	MTF411	Однослойная	72	30	2	2	15	1—10	⌀1,30	10,80	0,235
	MTF412	»	72	42	2	4	21	1—10	⌀1,12	12,90	0,132
Фазный ротор, $2p=6$	MTF011	Однослойно-двухслойная	36	18	—	—	18	1—8; 2—7	⌀1,30	1,76	0,540
	MTF012	То же	36	16	—	—	16	1—8; 2—7	⌀1,35	1,75	0,540
	MTF111	Однослойно-двухслойная	27	44	2	—	22*, 11**	1—6; 2—5	⌀1,12	2,70	0,440
	MTF112	То же	27	40	2	—	22*, 10**	1—6; 2—5	⌀1,25	3,60	0,360
	MTF211	Однослойно-двухслойная	36	32	2	—	16	1—8; 2—7	⌀1,40	4,90	0,353
	MTF311	То же	36	32	4	—	8	1—8; 2—7	⌀1,45	5,40	0,077
	MTF312	»	36	42	2	3	21	1—8; 2—7	⌀1,25	6,30	0,076
	MTF411	»	36	42	2	3	21	1—8; 2—7	⌀1,50	9,60	0,054
	MTF412	»	36	51	3	3	17	1—8; 2—7	⌀1,40	12,10	0,040
Фазный ротор, $2p=8$	MTF311	Однослойно-двухслойная	36	32	2	—	16*, 8**	1—6; 2—5	⌀1,40	4,90	0,330
	MTF312	То же	36	30	—	4	30*, 15**	1—6; 2—5	⌀1,50	6,75	0,080
	MTF411	Однослойно-двухплоскостная	48	39	3	2	13	1—8; 2—7	⌀1,30	9,00	0,082
	MTF412	То же	48	33	3	2	11	1—8; 2—7	⌀1,45	10,60	0,068
Статор, $2p=6$	МТН111	Однослойная	36	32	—	—	32	1—8; 2—7	⌀1,16	3,10	1,680
	МТН112	»	36	25	—	—	25	1—8; 2—7	⌀1,35	3,70	1,150
	МТН211	Однослойно-двухслойная	45	34*, 32**	2	—	17*, 8**	1—8; 2—7; 9—15	⌀1,20	5,30	0,600
	МТН311	Однослойная	54	33	3	—	11	1—10	⌀1,20	6,10	0,360
	МТН312	»	54	23	—	3	23	1—10	⌀1,40	7,20	0,230
	МТН411	Однослойно-двухслойная	54	44	2	3	22*, 11**	1—9; 2—8	⌀1,16	9,30	0,149
	МТН412	Двухслойная	54	34	—	6	17	1—8	⌀1,35	11,20	0,097
Статор, $2p=8$	МТН311	Однослойная концентрическая	48	33	—	2	33	1—8; 2—7	⌀1,25	6,00	0,610
	МТН312	То же	48	44	2	2	22	1—8; 2—7	⌀1,08	7,50	0,330
	МТН411	Однослойная	72	30	2	2	15	1—10	⌀1,25	8,70	0,266
	МТН412	То же	72	42	2	4	21	1—10	⌀1,12	12,60	0,131
	МТН511	Двухслойная	72	44	2	4	44	1—8	⌀1,16	14,10	0,117
	МТН512	»	72	32	2	4	32	1—9	⌀1,40	18,60	0,074

Продолжение табл. 2-37

Часть двигателя, число полюсов	Исполнение двигателя	Тип обмотки	Число пазов	Всего проводов в пазу	Параллельных проводов	Параллельных цепей на фазу	Витков в катушке	Шаг обмотки по пазам	Размер провода, мм	Масса провода, кг	Сопротивление фазы при 20°С, Ом
Статор, $2p=10$	МТН611	Двухслойная	75	48	2	5	48	1—7	⌀1,40	24,10	0,061
	МТН612	»	75	54	3	5	54	1—7	⌀1,30	29,00	0,043
	МТН613	»	75	42	3	5	42	1—7	⌀1,50	34,70	0,030
	МТН711	»	105	12	—	5	6	1—9	2,5×3,75	57,00	0,019
	МТН712	»	105	10	—	5	5	1—9	2,8×4,00	73,00	0,014
	МТН713	»	105	16	2	5	4	1—9	1,8×3,75	87,00	0,012
Фазный ротор, $2p=6$	МТН111	Однослойно-двухслойная	27	22	—	—	22*, 11**	1—6; 2—5	⌀1,40	2,16	0,560
	МТН112	То же	27	40	2	—	20*, 10**	1—6; 2—5	⌀1,16	3,00	0,440
	МТН211	Однослойно-двухслойная	36	28	2	—	14	1—8; 2—7	⌀1,30	4,10	0,344
	МТН311	То же	36	32	4	—	8	1—8; 2—7	⌀1,45	5,30	0,082
	МТН312	»	36	42	2	3	21	1—8; 2—7	⌀1,25	6,20	0,076
	МТН411	»	36	63	3	3	21	1—8; 2—7	⌀1,25	10,00	0,052
	МТН412	»	36	51	3	3	17	1—8; 2—7	⌀1,35	12,00	0,043
Фазный ротор, $2p=8$	МТН311	Однослойно-двухслойная	36	32	2	—	16*, 8**	1—6; 2—5	⌀1,40	4,90	0,330
	МТН312	То же	36	30	—	4	30*, 15**	1—6; 2—5	⌀1,45	6,30	0,087
	МТН411	Однослойно-двухплоскостная	48	39	3	2	13	1—8; 2—7	⌀1,30	8,30	0,083
	МТН412	То же	48	33	3	2	11	1—8; 2—7	⌀1,45	10,60	0,069
	МТН511	»	48	36	3	2	12	1—8; 2—7	⌀1,45	11,90	0,073
	МТН512	»	48	30	3	2	10	1—8; 2—7	⌀1,56	14,00	0,065
Фазный ротор, $2p=10$	МТН611	Двухслойная стержневая	90	2	1	1	—	1—10	2,63×10,0	19,40	0,020
	МТН612	То же	90	2	1	1	—	1—10	2,63×10,0	23,40	0,024
	МТН613	»	90	2	1	1	—	1—10	2,63×10,0	27,20	0,027
	МТН711	»	90	2	—	—	—	1—10	3,05×16,8	48,20	0,012
	МТН712	»	90	2	—	—	—	1—10	3,05×16,8	54,70	0,014
	МТН713	»	90	2	—	—	—	1—10	3,05×16,8	65,00	0,015

* Обмотка однослойная.

** Обмотка двухслойная.

Таблица 2-38

Основные размеры электродвигателей серий МТК и МТКН с короткозамкнутым ротором

Тип двигателя	Размеры			Масса, кг
	b_{31}, мм	l_{30}, мм	l_{33}, мм	
MTKF011	118	416	485	47
MTKF012	118	451	520	53
MTKF(H)111	134	485	574	70
MTKF(H)112	134	525	614	80
MTKF(H)211	157	586	706	110
MTKF(H)311	180	637	749	155
MTKF(H)312	180	712	824	195
MTKF(H)411	211	749	899	255
MTKF(H)412	211	824	974	315
MTKH511	236	865	1015	400
MTKH512	236	965	1115	500

Таблица 2-39

Кратность максимального момента двигателей серии МТ

Мощность, кВт		Номинальная кратность максимального момента
Фазный ротор	Короткозамкнутый ротор	
До 5	—	2,3
Свыше 5 до 10	До 8	2,5
Свыше 10	Свыше 8	2,8

Таблица 2-40

Расчетные данные электродвигателей MTF с фазным ротором, 50 Гц, 380/220 В

Тип двигателя	Статор					Ротор		
	I_0 фазы при 380 В, А	$\cos\varphi_0$	r_1 фазы в нагретом состоянии, Ом	x_1 фазы, Ом	σ_1	r_2 фазы в нагретом состоянии, Ом	x_2 фазы, Ом	Коэффициент приведения сопротивлений (без учета σ_1)
MTF011-6	4,90	0,166	5,780	3,600	1,087	0,770	0,566	9,06
MTF012-6	6,12	0,140	3,630	2,510	1,075	0,745	0,590	6,06
MTF111-6	9,65	0,125	2,100	2,450	1,117	0,600	0,760	3,92
MTF112-6	12,30	0,105	1,280	1,740	1,080	0,500	0,905	2,56
MTF211-6	14,35	0,085	0,755	1,050	1,070	0,485	0,855	1,92
MTF311-6	23,20	0,092	0,480	0,645	1,073	0,111	0,241	4,20
MTF312-6	38,10	0,085	0,268	0,334	1,061	0,107	0,244	2,66
MTF311-8	21,40	0,114	0,800	1,080	1,123	0,455	0,775	1,99
MTF312-8	29,80	0,088	0,450	0,666	1,099	0,130	0,290	3,50
MTF411-6	40,00	0,077	0,197	0,287	1,055	0,076	0,236	2,37
MTF412-6	51,80	0,069	0,124	0,197	1,049	0,055	0,173	1,96
MTF411-8	29,80	0,083	0,327	0,530	1,077	0,117	0,260	2,94
MTF412-8	49,60	0,080	0,182	0,313	1,076	0,095	0,231	2,03

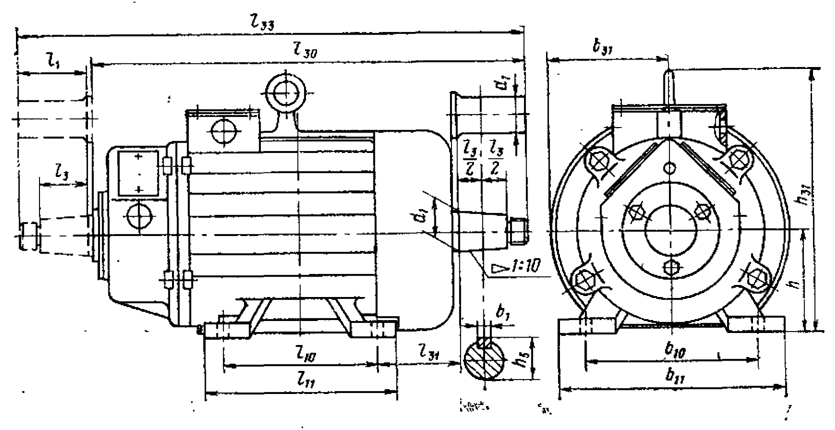


Рис. 2-31. Основные размеры электродвигателей серии MTF и МТН с фазным ротором.

Тип двигателя	Размеры, мм													
	b_1	b_{10}	b_{11}	d_1	h	h_5	h_{31}	l_1	l_3	l_{10}	l_{11}	l_{30}	l_{31}	l_{33}
MTF011	8	180	230	28	112	31,00	302	60	—	150	200	515,5	132	585
MTF012	8	180	230	28	112	31,00	302	60	—	190	240	550,5	127	620
MTF(H)111	10	220	290	35	132	38,00	342	80	—	190	240	583,5	140	673
MTF(H)112	10	220	290	35	132	38,00	342	80	—	235	285	623,5	135	713
MTF(H)211	12	245	320	40	160	43,00	385	110	—	243	306	700,5	150	820
MTF(H)311	14	280	350	50	180	53,50	444	110	—	260	320	748,0	155	860
MTF(H)312	14	280	350	50	180	53,50	444	110	—	320	380	823,0	170	935
MTF(H)411	18	330	440	65	225	64,88	530	140	105	325	395	877,0	175	1027
MTF(H)412	18	330	440	65	225	64,88	530	140	105	420	480	952,5	165	1102
MTH511	20	380	500	70	250	70,38	580	140	105	310	400	1014,0	251	1164
MTH512	20	380	500	70	250	70,38	580	140	105	390	480	1114,0	271	1264
MTH611	25	520	650	90	315	90,75	770	170	130	345	446	1152,0	256	1335
MTH612	25	520	650	90	315	90,75	770	170	130	445	546	1252,0	256	1435
MTH613	25	520	650	90	315	90,75	770	170	130	540	640	1347,0	256	1530
MTH711	32	640	790	110	400	110,88	933	210	165	440	580	1423,0	323	1645
MTH712	32	640	790	110	400	110,88	933	210	165	510	650	1493,0	323	1715
MTH713	32	640	790	110	400	110,88	933	210	165	590	730	1573,0	323	1795

Обмоточные данные двигателей серий MTF(H) по ГОСТ 185-70 приведены в табл. 2-11 и 2-37. Для двигателей MTF применяется круглый обмоточный провод

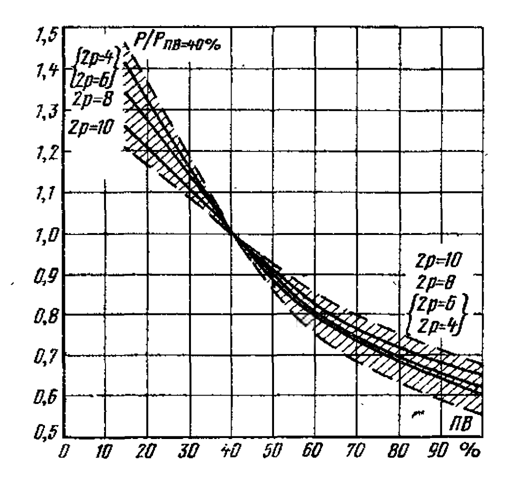


Рис. 2-32. Отношение номинальной мощности двигателя к номинальной мощности при ПВ=40% в зависимости от ПВ.

марки ПЭТ155, для двигателей МТН нулевого—четвертого габаритов — марки ПЭТ180 или ПЭТ200, а МТН пятого-шестого габаритов — марки ПСДК. Для обмотки статора двигателей МТН700 с открытыми пазами применяются жесткие формованные катушки из прямоугольного провода марки ПСДК, а для стержневой обмотки роторов МТН700 — профильная медь. Допускается намотка катушек из параллельных проводов, отличающихся на одну-две ступени по диаметру, для обеспечения заданного среднего сечения провода, например, вместо двух параллельных проводов диаметром 1,25 берут один провод диаметром 1,20 и один — диаметром 1,30 и наматывают их как параллельные.

Конкретные исполнения двигателей могут иметь обмоточные данные, отличающиеся от указанных в табл. 2-37.

Статорные обмотки двигателей на 380/220 В изготавливаются с соединением фаз звезда — треугольник, обмотки электродвигателей на напряжение 500 В соединяются в звезду (их обмоточные данные здесь не приводятся. Роторные обмотки всех исполнений соединяются в звезду.

Основные размеры двигателей с фазным ротором приведены на рис. 2-31. Часть размеров двигателей с короткозамкнутым ротором дана в табл. 2-38, остальные размеры могут быть взяты по рис. 2-31. Кратность максимального момента при ПВ=40% двигателей приведена в табл. 2-39.

Таблица 2-41

Расчетные технические данные электродвигателей МТН с фазным ротором, 50 Гц, 220/380 В

Тип двигателя	Статор					Ротор		
	I_0 фазы при 380 В, А	$\cos\varphi_0$	r_1 фазы в нагретом состоянии, Ом	x_1 фазы, Ом	σ_1	r_2 фазы в нагретом состоянии, Ом	x_2 фазы, Ом	Коэффициент приведения сопротивлений (без учета σ_1)
МТН111-6	9,65	0,125	2,250	2,450	1,117	0,775	0,829	3,92
МТН112-6	11,25	0,125	1,670	1,880	1,070	0,505	0,905	2,89
МТН211-6	19,0	0,112	0,835	0,880	1,080	0,466	0,666	2,18
МТН311-6	23,20	0,095	0,510	0,645	1,073	0,124	0,241	4,20
МТН312-6	34,40	0,092	0,337	0,431	1,072	0,125	0,254	2,66
МТН311-8	21,40	0,123	0,875	1,080	1,123	0,440	0,775	1,99
МТН312-8	29,80	0,103	0,510	0,666	1,099	0,132	0,290	3,50
МТН411-6	39,70	0,080	0,219	0,271	1,052	0,080	0,233	2,37
МТН412-6	51,80	0,071	0,133	0,197	1,049	0,059	0,173	1,96
МТН411-8	29,80	0,086	0,352	0,507	1,074	0,125	0,245	2,96
МТН412-8	49,60	0,084	0,202	0,313	1,076	0,102	0,231	2,03
МТН511-8	47,40	0,070	0,164	0,232	1,052	0,124	0,448	1,65
МТН512-8	53,10	0,080	0,103	0,172	1,040	0,091	0,356	1,42
МТН512-6	55,00	0,068	0,065	0,161	1,084	0,050	0,197	1,21
МТН611-6	72,00	0,052	0,049	0,133	1,104	0,028	0,096	1,38
МТН612-6	107,50	0,050	0,023	0,090	1,046	0,033	0,065	1,00
МТН613-6	126,00	0,072	0,020	0,064	1,078	0,038	0,050	0,80
МТН611-10	78,10	0,080	0,086	0,180	1,068	0,027	0,176	3,72
МТН612-10	88,70	0,060	0,060	0,136	1,058	0,033	0,133	2,10
МТН613-10	120,00	0,060	0,042	0,102	1,060	0,038	0,099	1,26
МТН711-10	155,00	0,042	0,0255	0,078	1,058	0,017	0,077	1,74
МТН712-10	183,00	0,044	0,0202	0,064	1,055	0,019	0,091	1,21
МТН713-10	247,00	0,042	0,0135	0,048	1,057	0,021	0,109	0,78

Таблица 2-42

Расчетные данные электродвигателей МТКF с короткозамкнутым ротором, 50 Гц, 380/220 В

Тип двигателя	Статор		Ротор		Коэффициент приведения сопротивлений (без учета σ_1), 10^4
	I_0 фазы при 380 В, А	$\cos\varphi_к$	r'_2 фазы в нагретом состоянии, Ом	x'_2 фазы, Ом	
МТКF011-6	4,17	0,87	7,450	3,170	8,670
МТКF012-6	5,30	0,85	5,380	2,320	4,600
МТКF111-6	7,30	0,65	2,340	2,760	4,590
МТКF112-6	9,60	0,59	2,170	2,060	2,580
МТКF211-6	11,65	0,71	1,620	1,020	1,445
МТКF311-6	19,30	0,71	0,800	0,555	0,740
МТКF312-6	29,80	0,72	0,477	0,356	0,359
МТКF311-8	16,40	0,77	1,010	0,645	1,335
МТКF312-8	27,70	0,73	0,640	0,420	0,615
МТКF411-6	31,30	0,62	0,327	0,348	0,319
МТКF412-6	42,10	0,62	0,236	0,251	0,173
МТКF411-8	25,40	0,65	0,503	0,409	0,596
МТКF412-8	43,30	0,63	0,325	0,278	0,293

Примечание. Значения r_1, x_1, $\cos\varphi_0$, σ_1 — см. табл. 2-40.

Зависимости отношения мощности двигателя к мощности двигателя при ПВ=40% от ПВ показаны на рис. 2-32.

Климатические исполнения Т и ХЛ имеют только двигатели МТН.

В табл. 2-40 и 2-41 приведены расчетные данные для крановых электродвигателей с фазным ротором серий МТF и МТН, в табл. 2-42 и 2-43 — для электродвигателей с короткозамкнутым ротором серий МТКF и МТКН.

Таблица 2-43

Расчетные технические данные электродвигателей МТКН с короткозамкнутым ротором, 50 Гц, 220/380 В

Тип двигателя	Статор		Ротор		Коэффициент приведения сопротивлений (без учета σ_1), 10^4
	I_0 фазы при 380 В, А	$\cos\varphi_к$	r'_2 фазы в нагретом состоянии, Ом	x'_2 фазы, Ом	
МТКН111-6	7,3	0,650	2,340	2,760	4,590
МТКН112-6	8,8	0,590	2,170	2,060	2,580
МТКН211-6	14,4	0,600	1,400	0,880	1,250
МТКН311-6	19,3	0,725	0,800	0,555	0,740
МТКН312-6	30,3	0,715	0,478	0,356	0,359
МТКН311-8	16,4	0,797	1,010	0,645	1,335
МТКН312-8	27,7	0,764	0,640	0,420	0,615
МТКН411-6	30,8	0,651	0,328	0,346	0,319
МТКН412-6	41,5	0,620	0,236	0,250	0,173
МТКН411-8	25,5	0,672	0,507	0,409	0,597
МТКН412-8	43,3	0,655	0,325	0,270	0,293
МТКН511-8	38,8	0,510	0,307	0,464	0,386
МТКН512-8	45,0	0,500	0,237	0,366	0,226

Примечания: 1. Значения r_1, x_1, $\cos\varphi_0$, σ_1 — см. табл. 2-41.

2. Двигатели на 440 В, 60 Гц имеют те же данные, кроме значений x_1 и x'_2, которые должны быть увеличены на 20%.

3. Двигатели на 400 и 415 В, 50 Гц имеют те же данные, кроме значений I_0, которые должны быть увеличены на 6% для 400 В и на 9% — для 415 В.

д) Новая серия 4МТ асинхронных крановых и металлургических электродвигателей

Начало производства двигателей новой серии 4МТ намечено на 1979—1982 гг. Основные принципы построения новой серии: соответствие установочно-присоединительных размеров требованиям ГОСТ, СЭВ и МЭК (см. табл. 2-1—2-3);

увеличение мощности двигателей при данной высоте оси вращения, расширение шкалы мощностей до 200 кВт;

введение четырехполюсного исполнения;

вероятность безотказной работы в течение гарантийного срока должна быть не менее 0,96 для двигателей кранового исполнения и 0,98 — для двигателей металлургического исполнения;

средний срок службы двигателей — 20 лет;

применение новых материалов — холоднокатаной электротехнической стали, изоляционных материалов на базе синтетических пленок и фенилоновой бумаги, эмалированных проводов повышенной стойкости и др.;

снижение шума и вибраций двигателей;

расширение шкалы мощностей восьмиполюсных двигателей до 200 кВт (вместо 90 кВт на старой серии);

улучшение энергетических показателей двигателей;

технически возможная унификация двигателей с двигателями серии 4А;

повышение степени защиты двигателей до IP54 для клеммовой коробки при IP44 для двигателя в целом, введение сальниковых уплотнений для ввода кабелей в

Таблица 2-44

Технические данные двигателей серии 4МТ

Тип двигателя	Мощность, кВт, при ПВ=40% и 2р числе пар полюсов				Наружный диаметр статора, мм
	2р=4	2р=6	2р=8	2р=10	
4МТ112L 4МТ112LB	3,75 5,50	2,20 3,75	—	—	191
4МТ132L 4МТ132LB	7,50 11,00	5,50 7,50	—	—	225
4МТ160L 4МТ160LB	—	11,0 15,0	7,5 11,0	—	272

Продолжение табл. 2-44

Тип двигателя	Мощность, кВт, при ПВ=40 % и 2р числе пар полюсов				Наружный диаметр статора, мм
	2р=4	2р=6	2р=8	2р=10	
4МТ200L 4МТ200LB	—	22,0 30,0	15,0 22,0	—	349
4МТ225М 4МТ225L	—	37,0 55,0	30,0 37,0	—	392
4МТ280S 4МТ280М 4МТ280L	—	75,0 110,0 —	55,0 75,0 90,0	45,0 55,0 75,0	493
4МТ355S 4МТ355М 4МТ355L	—	—	132,0 160,0 200,0	110,0 132,0 160,0	615

Таблица 2-45

Технические данные многоскоростных крановых электродвигателей

Тип двигателя	Число полюсов	Мощность, кВт	Режим работы ПВ, %	Частота вращения, об/мин	Линейный ток статора при 380 В, А	Пусковой ток при 380 В, А	Пусковой момент, Н·м	Максимальный момент, Н·м	Маховой момент ротора, кг·м²	Масса двигателя, кг
МТКН211-6/12	6 12	2,2 1,0	40 15	930 415	6,8 5,4	28 11	52 49	59 49	0,25	110
МТКН311-6/16	6 16	3,5 1,1	40 15	920 305	9,3 9,0	42 14	85 69	98 69	0,46	155
МТКН312-6/16	6 16	5,0 1,8	40 15	925 305	14,0 12,3	70 22	142 108	162 108	0,67	195
МТКН411-6/16	6 16	7,5 2,4	40 15	930 300	17,5 14,0	93 25	196 167	215 167	1,20	255
МТКН412-6/16	6 16	11,0 3,5	40 15	940 295	27,0 20,0	145 37	353 226	383 226	1,60	315
МТКН511-6/20	6 20	16,0 3,4	40 15	925 235	38,0 25,0	195 40	422 314	490 314	2,30	430
МТКН512-6/20	6 20	22,0 4,5	40 15	925 223	49,0 33,5	265 52	630 470	690 470	3,20	530
МТКF211-4/12	4 12	4,0 1,1	25 15	1385 395	10,0 7,3	47,0 12,5	63 52	73 52	0,19	100
МТКF410-4/24	4 24	7,0 0,8	25 15	1370 200	12,5 9,2	60,0 12,2	108 84	108 85	0,99	240
МТКF411-4/24	4 24	10,0 1,2	25 15	1360 165	20,0 13,4	100,0 18,2	176 118	176 118	0,99	250
МТКF412-2/24	4 24	15,0 1,5	25 15	1365 175	29,5 13,8	160,0 19,0	240 147	285 145	1,85	300
МТКF511-4/24	4 24	22,0 2,0	25 15	1395 175	41,0 20,0	250,0 26,0	392 225	432 236	2,30	410
МТКF611-4/8/24	4 8 24	30,0 15,0 3,7	25 15 15	1415 690 165	57,5 38,4 30,5	395,0 176,0 48,0	540 540 363	667 589 363	4,45	595
МТКF612-4/8/24	4 8 24	45,0 20,0 —	25 15 15	1405 687 194	90,0 51,5 40,2	560,0 220,0 60,0	697 608 530	981 706 532	5,50	710

Таблица 2-46

Расчетные технические данные двухскоростных электродвигателей МТКН на 220 или 380 В, 50 Гц

Тип двигателя	Число полюсов	Статор					Ротор		
		I_0 фазы при 380 В, А	$\cos\varphi_0$	r_1 фазы в нагретом состоянии, Ом	x_1 фазы, Ом	σ_1	r_2' фазы в нагретом состоянии, Ом	x_2' фазы, Ом	Коэффициент приведения сопротивлений (без учета σ_1), 10^4
МТКН211	6 12	5,03 4,72	0,129 0,188	2,230 5,000	4,19 8,65	1,060 1,230	3,11 10,90	1,780 6,300	2,66 19,80
МТКН311	6 16	6,03 8,75	0,108 0,322	1,240 5,050	2,98 5,86	1,089 1,300	2,22 9,70	0,872 3,540	1,39 17,45
МТКН312	6 16	9,40 11,40	0,103 0,270	0,730 3,260	1,80 4,24	1,080 1,282	1,39 6,87	0,540 2,610	0,62 8,55
МТКН411	6 16	10,00 13,10	0,095 0,208	0,650 3,200	1,13 2,90	1,050 1,170	0,99 5,36	0,507 2,140	0,63 8,10
МТКН412	6 16	17,50 17,90	0,093 0,238	0,345 2,525	0,68 2,26	1,058 1,180	0,604 3,834	0,292 1,670	0,28 4,61

клеммовую коробку и к контактным кольцам; применение плоских крышек с болтовым креплением на люках контактных колец; введение резиновых уплотнений на съемных крышках;

увеличение прочности валов двигателей 4МТ112, 4МТ132 и фланцев двигателей 4МТ112, 4МТ132, 4МТ160;

автоматизация и механизация основных технологических процессов изготовления двигателей, в том числе намотки статоров двигателей 4МТ112—4МТ225;

введение постоянного по значению напряжения между контактными кольцами $U_к=240\pm10\%$ В для двигателей 4МТ132—4МТ200; для двигателей 4МТ225 $U_к\leqslant\leqslant300$ В по условиям самовозбуждения двигателя в режиме динамического торможения. Исключение составляют двигатели 4МТ112, у которых $U_к=200$ В, и машины большой мощности, где эти условия не могут быть выполнены.

В обозначении двигателей введена высота оси вращения.

Наименование, исполнение по длине, значения числа пар полюсов, мощности, наружного диаметра пакетов статора приведены в табл. 2-44.

Установочно-присоединительные размеры двигателей при заданной высоте оси вращения соответствуют табл. 2-1.

Значение мощности при режимах работы, отличающихся от приведенной в табл. 2-44, могут быть взяты по рис. 2-32. Представленная зависимость построена путем обобщения данных отечественных и зарубежных серий двигателей. Значения для двигателей с различным числом пар полюсов представлены сплошными линиями, отклонение мощности конкретных машин от средних значений составляет $\pm(5\div10)\%$ и находится в заштрихованной зоне.

Маховой момент ротора, кг·м², можно определить по приближенным формулам:

для короткозамкнутого ротора

$$GD^2\approx0{,}49D^2G_a;$$

для фазного ротора

$$GD^2\approx0{,}42D^2G_a,$$

где D — диаметр ротора, см; G_a — масса ротора, кг.

е) Многоскоростные крановые электродвигатели

Многоскоростные крановые электродвигатели предназначены в основном для работы в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и торможениями. Шкала мощностей на меньшем числе полюсов, как правило, соответствует основной шкале односкоростных двигателей. Мощности на малой частоте вращения установлены исходя из постоянства номинального момента. У трехскоростных двигателей на самой малой частоте вращения часто указывают не мощность, а только значения номинальных моментов. Таким образом, двигатели построены по принципу регулирования при постоянном моменте, т. е. с реализацией наибольшей мощности на наибольшей частоте вращения.

В табл. 2-45 приведены технические данные многоскоростных электродвигателей. Номинальные данные двигателей определены из условия, что пуск происходит при наличии на валу статического момента, равного номинальному; время разгона при пусках входит в общую продолжительность включения. Двигатели выполняются с независимыми статорными обмотками, что позволяет относительно легко получать заданное сочетание чисел полюсов.

В схемах электропривода двигатели могут иметь независимое и последовательное соединение обмоток. Последовательное соединение обмоток при большой и малых частотах вращения позволяет ограничить максимальный генераторный момент при переходе с большой частоты вращения на малую, а также непрерывно подавать напряжение на двигатель при переходе с одной частоты вращения на другую. При последовательном соединении двух обмоток необходимо, чтобы двигатель имел одно направление вращения при раздельной работе на каждой обмотке. При включении в сеть одной из обмоток вторая обмотка может быть замкнута накоротко.

В табл. 2-46 приведены расчетные параметры двухскоростных асинхронных двигателей серии МТКН.

ж) Двигатели общего назначения на крановых механизмах

Для талей, грузоподъемных лебедок и кран-балок широко применяются двигатели общего назначения. С 1975 г. начато внедрение асинхронных короткозамкну-

тых двигателей серии 4А по ГОСТ 19523-74, предназначенных для продолжительного режима работы S1. Диапазон мощностей двигателей при синхронных частотах вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 об/мин составляет 0,06—315 кВт. Двигатели рассчитаны на номинальные напряжения 220/380 и 380/660 В, шесть выводных концов обмотки статора выведены в клеммную коробку.

Двигатели с высотой оси вращения 50—132 мм имеют изоляцию класса нагревостойкости В, с высотой оси вращения 160—355 мм — класса F. Степень защиты двигателей IP44. Типоразмеры и основные параметры закрытых обдуваемых двигателей, применяемых на крановых механизмах, приведены в табл. 2-47.

В обозначение двигателя входит размер по длине станины S, M или L, длина сердечника статора A или B, число пар полюсов 2, 4, 6. Установочные и присоединительные размеры приняты согласно табл. 2-1 — 2-3, габаритные размеры и масса двигателей приведены в табл. 2-48 (см. рис. 2-33).

Таблица 2-47

Технические данные ряда электродвигателей серии 4А

Тип двигателя	Мощность, кВт	К. п. д., %	cos φ	Отношение к номинальному моменту: максимального момента	начального пускового момента	минимального момента	Отношение начального пускового тока к номинальному
Синхронная частота вращения 1500 об/мин							
4A71A2У3	0,75	77,0	0,87	2,2	2,0	1,2	5,5
4A71B2У3	1,1	77,5	0,87	2,2	2,0	1,2	5,5
4A80A2У3	1,5	81,0	0,85	2,2	2,0	1,2	6,5
4A80B2У3	2,2	83,0	0,87	2,2	2,0	1,2	6,5
4A90L2У3	3,0	84,5	0,88	2,2	2,0	1,2	6,5
4A100S2У3	4,0	86,5	0,89	2,2	2,0	1,2	7,5
4A100L2У3	5,5	87,5	0,91	2,2	2,0	1,2	7,5
4A112M2У3	7,5	87,5	0,88	2,2	2,0	1,0	7,5
4A132M2У3	11,0	88,0	0,90	2,2	1,6	1,0	7,5
4A160S2У3	15,0	88,0	0,91	2,2	1,4	1,0	7,5
4A160M2У3	18,5	88,5	0,92	2,2	1,4	1,0	7,5
4A180S2У3	22,0	88,5	0,91	2,2	1,4	1,0	7,5
4A180M2У3	30,0	90,0	0,92	2,2	1,4	1,0	7,5
Синхронная частота вращения 1500 об/мин							
4A71A4У3	0,55	70,5	0,70	2,2	2,0	1,6	4,5
4A71B4У3	0,75	72,0	0,73	2,2	2,0	1,6	4,5
4A80A4У3	1,1	75,0	0,81	2,2	2,0	1,6	5,0
4A80A4У3	1,5	77,0	0,83	2,2	2,0	1,6	5,0
4A90L4У3	2,2	80,0	0,83	2,2	2,0	1,6	6,0
4A100S4У3	3,0	82,0	0,83	2,2	2,0	1,6	6,5
4A100L4У3	4,0	84,0	0,84	2,2	2,0	1,6	6,5
4A112M4У3	5,5	85,5	0,85	2,2	2,0	1,6	7,0
4A132S4У3	7,5	87,5	0,86	2,2	2,0	1,6	7,5
4A132M4У3	11,0	87,5	0,87	2,2	2,0	1,6	7,5
4A160S4У3	15,0	88,5	0,88	2,2	1,4	1,0	7,0
4A160M4У3	18,5	89,5	0,88	2,2	1,4	1,0	7,0
4A180S4У3	22,0	90,0	0,90	2,2	1,4	1,0	7,0
4A180M4У3	30,0	90,5	0,90	2,2	1,4	1,0	7,0
Синхронная частота вращения 1000 об/мин							
4A80A6У3	0,75	69,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0
4A80B6У3	1,1	74,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0
4A90L6У3	1,5	75,0	0,74	2,2	2,0	1,6	5,5
4A100L6У3	2,2	81,0	0,73	2,2	2,0	1,6	5,5
4A112MA6У3	3,0	81,0	0,76	2,2	2,0	1,6	6,0
4A112MB6У3	4,0	82,0	0,81	2,2	2,0	1,6	6,0
4A132S6У3	5,5	85,0	0,80	2,2	2,0	1,6	7,0
4A132M6У3	7,5	85,5	0,81	2,2	2,0	1,6	7,0
4A160S6У3	11,0	86,0	0,86	2,0	1,2	1,0	6,0
4A160M6У3	15,0	87,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0
4A180M6У3	18,5	88,0	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0

Таблица 2-48

Габаритные размеры и масса ряда двигателей серии 4А исполнения М100

Тип двигателя	Габаритные размеры, мм: d_1	d_{30}	l_{30}	l_{33}	h_{31}	Масса, кг
4A71	19	170	285	330	201	15,1
4A80A	22	186	300	352	218	17,4
4A80B	22	186	320	372	218	20,4
4A90L	24	208	350	402	243	28,7
4A100S	28	235	362	427	263	36,0
4A100L	28	236	392	457	263	42,0
4A112M	32	260	452	534	310	56,0
4A132S	38	302	480	560	350	77,0
4A132M	38	302	530	610	350	93,0
4A160S	48*	358	624	737	430	135,0*
4A160M	48*	358	667	780	430	160,0*
4A180S	55*	410	662	778	470	175,0*
4A180M	55*	410	702	818	470	195,0*

* Для двигателей с числом полюсов 4 и 6.

Средний расчетный срок службы двигателей — не менее 15 лет при наработке не более 40 000 ч, вероятность безотказной работы — не менее 0,9 при 10 000 ч наработки.

Для привода механизмов, отличающихся большой инерционностью в момент пуска, применяются закрытые обдуваемые двигатели серии 4А с повышенным пусковым моментом по ГОСТ 20818-75. Степень защиты двигателей IP44. Типоразмеры и основные параметры этих двигателей указаны в табл. 2-49.

Таблица 2-49

Технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Типоразмер двигателя	Номинальная мощность, кВт	К.п.д., %	cos φ	Скольжение, %	Отношение начального пускового тока к номинальному	Отношение к номинальному моменту: начального пускового момента	минимального момента	максимального момента
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
4AP160S4У3	15,0	87,5	0,87	2,33	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP160M4У3	18,5	88,5	0,87	2,33	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP180S4У3	22,0	90,0	0,87	2,66	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP180M4У3	30,0	90,0	0,87	2,66	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP200M4У3	37,0	91,0	0,88	2,00	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP200L4У3	45,0	92,0	0,88	2,00	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP225M4У3	55,0	92,5	0,88	1,66	7,0	2,0	1,6	2,2
4AP250S4У3	75,0	93,0	0,87	1,66	7,5	2,0	1,6	2,2
4AP250M4У3	90,0	93,0	0,88	1,66	7,5	2,0	1,6	2,2
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
4AP160S6У3	11,0	85,5	0,83	2,5	7,0	2,0	1,6	2,2
4AP160M6У3	15,0	87,5	0,83	2,5	7,0	2,0	1,6	2,2
4AP180M6У3	18,5	87,0	0,80	3,0	6,0	2,0	1,6	2,2
4AP200M6У3	22,0	90,5	0,85	2,5	6,5	2,0	1,6	2,2
4AP200L6У3	30,0	90,5	0,86	2,5	6,5	2,0	1,6	2,2
4AP225M6У3	37,0	90,5	0,84	2,0	7,0	2,0	1,6	2,2
4AP250S6У3	45,0	91,5	0,82	2,0	6,5	2,0	1,6	2,2
4AP250M6У3	55,0	91,5	0,83	2,0	6,5	2,0	1,6	2,2
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
4AP160S8У3	7,5	86,0	0,75	2,66	6,0	1,8	1,5	2,0
4AP160M8У3	11,0	87,0	0,75	2,66	6,0	1,8	1,5	2,0
4AP180M8У3	15,0	86,5	0,77	2,66	5,5	1,8	1,5	2,0
4AP200M8У3	18,5	88,0	0,78	2,66	5,5	1,8	1,5	2,0
4AP200L8У3	22,0	88,5	0,80	2,66	5,5	1,8	1,5	2,0
4AP225M8У3	30,0	90,0	0,80	2,00	5,5	1,8	1,5	2,0
4AP250S8У3	37,0	90,0	0,72	2,00	5,5	1,8	1,5	2,0
4AP250M8У3	45,0	90,5	0,75	2,00	5,5	1,8	1,5	2,0

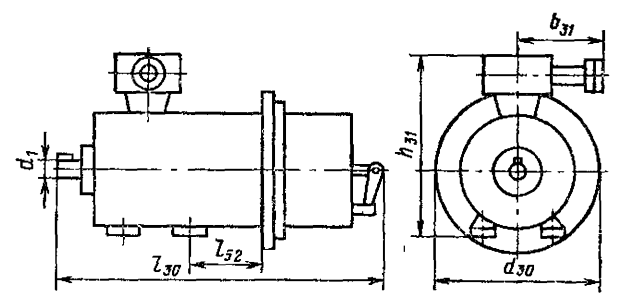


Рис. 2-33. Основные размеры двигателей серии ВКр исполнения М101.

Тип двигателя	Размеры, мм						Масса, кг
	b_{31}	d_1	d_{30}	l_{30}	l_{52}	h_{31}	
ВКр63А4	158	14	—	460	—	258	40,5
ВКр63В4	158	14	—	460	—	258	41,6
ВКр71А4	158	19	—	485	—	258	44,0
ВКр71В4	158	19	—	485	—	258	45,0
ВКр80В6	158	22	—	535	—	285	62,0
ВКр90L6	170	24	252	630	159	390	95,0
ВКр100L6	170	28	252	712	208	400	115,0
ВКр112МА6	240	32	302	820	228	465	148,0
ВКр112МВ6	240	32	302	820	228	465	154,0
ВКр132S6	240	38	352	820	208	512	196,0
ВКр132М6	240	38	352	855	205	512	206,0
ВКр180S6	340	48	410	1050	—	540	345,0
ВКр180М6	340	48	410	1100	—	540	375,0
ВКр200М6	340	55	430	1150	—	590	445,0
ВКр200L6	340	55	430	1190	—	590	470,0
ВКр225М8	410	65	480	1300	—	660	620,0
ВКр225L8	410	65	480	1350	—	660	700,0

Размеры и масса двигателей принимаются согласно ГОСТ 19523-74.

На базе взрывозащищенных электродвигателей В, ВР разработаны крановые асинхронные двигатели ВКр с электромагнитным тормозом. Двигатели отнесены по взрывобезопасности к категориям 1, 2, 3 и группам воспламеняемости Т1—Т4, степень защиты от внешних воздействий IP54. Двигатели выполнены без вентилятора наружного обдува, имеют две коробки выводов — для обмотки статора и для катушек тормоза. Технические данные двигателей приведены в табл. 2-50, установочные и присоединительные размеры для соответствующей высоты оси вращения приняты по табл. 2-1—2-3, прочие размеры и масса двигателей указаны на рис. 2-33.

Отношение момента тормоза к номинальному моменту двигателя равно 1,5, гарантированное число срабатывания тормоза — не менее 250 000 включений.

Конструктивные исполнения двигателей М101 и М441.

Таблица 2-50

Технические данные электродвигателей серии ВКр

Тип двигателя	Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Допустимое число включений в час	Коэффициент инерции	Отношение начального тока к номинальному	Отношение к номинальному моменту		
						начального пускового момента	минимального момента	максимального момента
ВКр63А4	0,25	1500		3,0	5,5	1,8	1,2	2,2
ВКр63В4	0,37	1500		3,0	5,5	1,8	1,2	2,2
ВКр71А4	0,55	1500	Не	3,0	5,5	1,8	1,2	2,2
ВКр71В4	0,75	1500	более	3,0	5,5	1,8	1,2	2,2
ВКр80В6	1,1	1000	60	2,5	4,5	1,7	1,2	2,0
ВКр90L6	1,5	1000	300	2,5	5,0	2,0	1,2	2,3
ВКр100L6	2,2	1000	160	2,5	5,5	2,0	1,2	2,4
ВКр112МА6	3,0	1000	140	2,5	6,0	2,0	1,4	2,7
ВКр112МВ6	4,0	1000	130	2,5	6,0	2,0	1,4	2,7
ВКр132S6	5,5	1000	90	2,5	6,2	2,2	1,4	2,7
ВКр132М6	7,5	1000	80	2,5	6,5	2,4	1,4	2,7
ВКр180S6	11,0	1000		3,0	5,5	2,5	—	2,5
ВКр180М6	15,0	1000	Не	3,0	5,5	2,5	—	2,5
ВКр200М6	18,5	1000	более	3,0	5,5	2,5	—	2,5
ВКр200L6	22,0	1000	60	3,0	5,5	2,5	—	2,5
ВКр225М8	30,0	750		3,0	5,5	2,5	—	2,5
ВКр225L8	37,0	750		3,0	5,5	2,5	—	2,5

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

КОНТАКТНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КРАНОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

3-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ

а) Назначение и классификация

Электрическими контактными аппаратами называются электротехнические устройства, предназначенные для коммутации изменения параметров электрических цепей. Они классифицируются по принципу действия, назначению и выполняемым функциям.

По принципу действия различают электромагнитные, индукционные, тепловые и контактно-механические аппараты. По назначению и выполняемым функциям они делятся на две группы:

1) аппараты, осуществляющие оперативное управление электроприводами путем выполнения определенных операций включения, отключения в цепях главного тока и цепях управления;

2) аппараты, выполняющие функции защиты, контроля и сигнализации.

К первой группе относятся командоаппараты (командоконтроллеры, путевые выключатели, выключатели управления и другие аналогичные аппараты), реле, контакторы, магнитные пускатели, силовые контроллеры ручного управления, магнитные контроллеры, комплектные устройства и т. д. Ко второй группе относятся автоматические выключатели, предохранители, конечные выключатели, реле защиты и контроля и др.

Некоторые из перечисленных аппаратов, например реле, контакторы, пускатели, могут выполнять обе указанные функции.

б) Особенности процессов коммутации в цепях переменного и постоянного тока

Характерной особенностью переменного тока является то, что через каждые полпериода он становится равным нулю. В момент размыкания контактов, соответствующий первому переходу тока через нуль, между контактами почти мгновенно восстанавливается так на-

зываемая начальная диэлектрическая прочность. С дальнейшим увеличением расстояния между разомкнутыми контактами электрическая прочность возрастает значительно медленнее. Для обеспечения гашения дуги переменного тока необходимо, чтобы восстанавливающая прочность дугового промежутка в любой момент времени была выше восстанавливающегося напряжения на контактах. Условие гашения дуги переменного тока обеспечивается при выполнении неравенства

$$n > \frac{U_н^2 \sin\varphi \sqrt{fI_н}}{2\cdot 10^6\left(0,04I_н + \sqrt[3]{l}\right)(l - 0,3)},$$

где n — число последовательных разрывов при коммутации; $U_н$ — номинальное напряжение, В; φ — угол сдвига между током и напряжением; f — частота сети, Гц; $I_н$ — номинальный ток контактора, А; l — длина столба дуги, см. Длина дуги (без устройств дугогашения) находится в пределах 1,2—0,4 см.

Для переменного тока напряжением до 500 В включительно с активной нагрузкой в цепи или до 220 В включительно с небольшой индуктивной нагрузкой при одном разрыве на полюс дуга надежно гаснет при растворе контактов от 0,5 мм независимо от значения отключаемого тока вплоть до 600 А. В диапазоне токов от 10 до 200 А для надежного гашения дуги требуется раствор контактов 5—7 мм. В момент отключения индуктивной нагрузки с напряжением 380 и 500 В дуга имеет наибольшую длительность горения при токах около 50 А. Раствор контактов более 8 мм не оказывает влияния на длительность горения дуги.

Коммутационные аппараты постоянного тока должны иметь более сложные и громоздкие дугогасительные устройства, так как гасить дугу постоянного тока, особенно при индуктивной нагрузке, значительно труднее. Необходимый раствор контактов в коммутационных аппаратах постоянного тока зависит от значений отключаемого тока, напряжения на контактах, индуктивности цепи. Кроме того, существенное влияние на гашение оказывают конструктивные особенности дугогасительных камер и устройств.

Токи, при которых дуга горит более 0,1 с, обычно называются критическими. Наиболее надежное гашение дуги в аппаратах постоянного тока обеспечивается при поперечном магнитном поле, создаваемом последовательной дугогасительной катушкой.

В аппаратах, коммутирующих токи до 10 А с индуктивной нагрузкой, иногда целесообразно использовать постоянные магниты для гашения дуги, однако этот метод применим только в том случае, когда ток на контактах не меняет направления. Оптимальный раствор контактов при наличии последовательности дугогасительной катушки — 8—9 мм. Дальнейшее увеличение раствора не оказывает ощутимого влияния на улучшение дугогашения.

в) Включение и отключение двигателей

В процессе пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя ток в течение первой полуволны может в 1,4—1,6 раза превысить расчетный пусковой ток двигателя. Таким образом, амплитудное значение первого полупериода может достигать 14—15-кратного значения номинального эффективного тока двигателя. Такие значения токов вызывают относительно большие электродинамические усилия, действующие в направлении размыкания контактов. Одновременно при включении контактов происходит их вибрация, вызванная соударением. Продолжительность вибрации контактов составляет 0,001—0,004 с, т. е. при вибрации происходит два-три размыкания цепи с током 3—6 $I_н$. Значительно меньшие токи включают контакты при пуске асинхронных двигателей с фазным ротором. Пусковой ток здесь ограничивается в пределах до 2,5—3,0 $I_н$. Значения токов отключения при вибрации контактов лежат в тех же пределах.

В контактных цепях постоянного тока при включении нагрузки ток нарастает по экспоненте $i = (1 - e^{-Rt/L})I_н$, стремясь в пределе к значению 2,5—3,0 $I_н$, поэтому при вибрации контактов может происходить размыкание цепи с током, который изменяется в широких пределах вплоть до указанных.

В процессе размыкания цепи двигателей, вращающихся с номинальной частотой вращения, ток принимает значение, определяемое нагрузкой, и не может быть намного больше номинального, а напряжение, восстанавливающееся на контактах, равно разности напряжения сети и э. д. с., индуцированной в обмотках двигателя, т. е. в течение первого периода размыкания эта разность равна 10—15% номинального напряжения. На постоянном токе восстанавливающееся напряжение к моменту размыкания контактов равно падению напряжения в обмотках двигателя, т. е. тоже составляет 7—15% номинального напряжения.

Работа контактной системы при включении двигателя и его отключении после разгона до номинальной частоты вращения соответствует легкому режиму работы, так как ток при отключении, как правило, не превышает номинального, а восстанавливающееся на контактах напряжение составляет 10—15% номинального напряжения сети.

Работа контактной системы при включении заторможенного двигателя и отключении двигателя также в заторможенном состоянии или при частоте вращения, близкой к нулю, соответствует тяжелому режиму работы.

г) Износостойкость контактных систем

При наличии дугогашения износ контактов во время размыкания зависит от напряженности магнитного поля дугогашения, которая должна быть не ниже 80 А/м. На износ контактов во время размыкания существенное влияние оказывает скорость их размыкания: он повышается с ростом скорости размыкания контактов и увеличением раствора контактов. Износ контактов при включении зависит прежде всего от времени вибрации контактов, скорости нарастания тока и механических воздействий на замыкающиеся контакты (удар, притирание). Например, при уменьшении времени вибрации контактов от 0,005 до 0,0005 с износ контактов, включающих ток, равный 7 $I_н$, уменьшается в 10 раз. При времени вибрации менее 0,0005 с вибрация контактов практически не сказывается на износе. Необходимо учесть, что амплитуда вибрации контактов значительно возрастает при увеличении мощности включающего устройства.

При коммутации контактами цепей постоянного тока, особенно с индуктивностью, контакты изнашиваются в основном при отключении цепи. В общем виде износ контактов (уменьшение массы контактов, кг) определяется выражением

$$m = k_к n I^2 \cdot 10^{-12},$$

где $k_к$ — коэффициент, характеризующий качество материала контакта; n — число размыканий; I — размыкаемый ток при индуктивной нагрузке, А.

Серебряные и сереброникелевые контакты имеют наилучшие показатели в диапазоне токов до 100 А ($k_к = 3 \div 8$). Контакты из композиции серебро — окись кадмия и из кадмиевой меди имеют наилучшие показатели в диапазоне токов 80—300 А ($k_к = 4 \div 8$). Медные и медно-графитовые контакты целесообразно использовать при токах 200—800 А ($k_к = 8 \div 10$). Для токов свыше 2000 А

рекомендуется применять серебровольфрамовые контакты ($k_к=20\div30$).

При размыкании цепи с увеличением напряжения износ возрастает: в цепях постоянного тока — пропорционально напряжению; в цепях переменного тока — пропорционально квадрату напряжения. Опыт показывает, что в интервале 20—2000 включений в час износ контактов от числа включений практически не зависит.

д) Работа контактных систем в повторно-кратковременном режиме

В повторно-кратковременном режиме нагрев контактов складывается из нагрева от протекающего тока и нагрева от коммутации этого тока. Нормируемым температурным режимом контактов является продолжительный, поэтому при повторно-кратковременном режиме ток, протекающий через контакты, может быть определен по формуле

$$I_\varepsilon = \frac{I_{доп}}{\sqrt{\varepsilon + k\frac{N}{600}\sqrt{\varepsilon}}},$$

где I_ε — ток при заданной относительной продолжительности включения; $I_{доп}$ — допустимый длительный ток контактов; ε — относительная продолжительность включения контактов в цикле работы; k — коэффициент напряжения ($k=1$ на постоянном токе до 220 В и переменном токе до 380 В; $k=1,4$ на постоянном токе свыше 220 В и переменном токе свыше 380 В); N — число отключений в час.

е) Нажатие на контакты в электрических аппаратах

Оптимальное нажатие на контакты является одним из важнейших параметров, определяющих размеры аппаратов и их коммутационно-износные характеристики. От нажатия на контакты и жесткости пружины зависит продолжительность вибрации при включении, а также условия приваривания. Рекомендуемые значения нажатий на контакты приведены в табл. 3-1.

Таблица 3-1

Рекомендуемые значения нажатий на контакты

Тип аппарата	Серебряные и металлокерамические контакты		Медные контакты	
	Нажатие, 10^{-2} Н/А			
	начальное	конечное	начальное	конечное
Реле постоянного и переменного тока	3—5	4—6*	—	—
Контакторы постоянного тока	6—8	10—12	10—15	20—25
Контакторы переменного тока	10—12	14—17	15—20	21—25
Вспомогательные контакты контакторов	3—5	4—6	—	—

* Но не менее 0,2 Н/А на контакт.

ж) Основные параметры электрических аппаратов

Электрические контактные аппараты, применяемые в крановых приводах, характеризуются следующими основными параметрами: допустимым превышением температуры токоведущих частей и смежных изоляционных частей при номинальном режиме, сопротивлением изоляции в холодном и нагретом состоянии, термической и динамической стойкостью изделия, электрической прочностью изоляции, допустимым числом включений в час, механической и электрической износостойкостью, коммутационной способностью.

Допустимое превышение температуры токоведущих и смежных изоляционных частей над температурой окружающей среды при номинальном режиме аппаратов определяется при установившемся режиме (продолжительном, прерывисто-продолжительном, повторно-кратковременном или кратковременном).

Значения допустимого превышения температуры частей аппаратов приведены в табл. 3-2.

Таблица 3-2

Допустимые превышения температуры частей аппаратов

Наименование частей аппаратов	Допустимое превышение температуры частей аппаратов при +40°С окружающей среды, °С, в режиме	
	продолжительном	прерывисто-продолжительном, повторно-кратковременном и кратковременном
Коммутирующие контакты главной цепи:		
медные	55	65
с накладками из серебра или металлокерамики	Температура ограничивается нагревостойкостью соседних частей, но не более 200°С	
массивные скользящие с накладками из серебра или металлокерамики	80	80
коммутирующие контакты вспомогательной цепи с накладками из серебра	80	80
Винтовые и болтовые контактные соединения:		
из меди и ее сплавов, алюминия и его сплавов без защитных покрытий	55	55
то же с защитным покрытием (кадмирование, никелирование, цинкование, лужение)	65	65
то же с серебряным защитным покрытием	95	95
гибкие соединения из меди	65	65
Многослойные катушки при измерении по методу сопротивления классов изоляции:		
A	65	85
E	80	100
B	90	110
F	115	135
H	140	160
Рукоятки и маховички:		
металлические	15	15
пластмассовые	25	25

Сопротивление изоляции аппаратов фиксируется между токоведущими частями разной полярности и между токоведущими частями и заземленным корпусом. Сопротивление изоляции отдельного аппарата в состоянии поставки должно быть не ниже 10 МОм, а в условиях эксплуатации — не ниже 1,0 МОм. Сопротивление изоляции устройства, включающее несколько аппаратов (например, магнитный контроллер), должно быть соответственно не ниже 2,0 и 0,5 МОм.

Термическая стойкость аппарата определяется прохождением в течение 1 с через его токоведущие части, находящиеся в рабочем положении, предельного тока, не

вызывающего остаточных деформаций, которые определяют надежность контактных переходов, стойкость изоляционных и токоведущих деталей. Термическая стойкость, как правило, характеризуется прохождением тока, равного 10 $I_н$.

Электродинамическая стойкость аппарата определяется прохождением через аппарат, находящийся во включенном положении в течение 0,1 с тока с предельным значением, не вызывающим перемещения токоведущих частей, сваривания контактов или их разрыва. Для крановой аппаратуры, кроме устройств защиты, ток электродинамической стойкости составляет 18—22 $I_н$. Для устройств защиты он должен быть не ниже 120% предельной коммутационной способности аппарата.

Электрическая прочность изоляции крановой аппаратуры проверяется переменным синусоидальным током частотой 50 Гц для подтверждения наличия надлежащих запасов прочности в изоляции при возможных перенапряжениях сети. Электрическая прочность изоляции проверяется между токоведущими частями и корпусом, а также между токоведущими частями разной полярности и разомкнутыми контактами. Аппаратура должна выдерживать в течение 1 мин испытательное напряжение, указанное в табл. 3-3.

Таблица 3-3

Испытательное напряжение электрических аппаратов

Номинальное напряжение по изоляции, В	Испытательное напряжение (действующее значение), В
До 24	500
Свыше 24 до 60	1000
Свыше 60 до 300	2000
Свыше 300 до 660	2500

Таблица 3-4

Классификация аппаратов по допустимому числу включений в час

Класс аппарата	Допустимое число включений в час, не более
0,3	30
1	120
3	300
10	1200
30	3600

Наибольшее допустимое *число включений в час* в повторно-кратковременном режиме определяет класс прибора. Данные по наибольшему допустимому числу включений в час в зависимости от класса приведены в табл. 3-4.

Механическая износостойкость характеризует аппараты, имеющие движущиеся части, и определяется числом циклов включение — отключение В—О без тока в коммутируемой цепи. По уровню механической износостойкости крановая коммутационная аппаратура (в зависимости от исполнения и назначения) выполняется на одно из следующих значений числа циклов стандартизованного ряда: 0,1; 0,3; 1,0; 1,6; 3,0; 6,3; 10; 16 и 30 млн. циклов В—О.

Автоматические выключатели, рубильники, различные неоперативные выключатели относятся к классу 0,3 по допустимому числу включений в час и имеют механическую износостойкость до 0,1 млн. циклов. Кулачковые контроллеры, а также некоторые исполнения электромагнитных контакторов и реле, применяемых для механизмов легкого и среднего режимов работы, относятся к классу 3 и могут иметь механическую износостойкость до 3 млн. циклов В—О.

Для электроприводов механизмов тяжелого и весьма тяжелого режимов работы следует применять контакторы и реле не ниже 3-го класса и с механической износостойкостью не ниже 10 млн. циклов.

Электрическая износостойкость характеризуется допустимым числом циклов В—О токов, имеющих место в нормальных условиях эксплуатации. Электрическая износостойкость для аппаратов со сменными контактами определяется периодом до смены контактов и составляет 8—15% механической износостойкости для контакторов и кулачковых контроллеров и 15% — для реле, кнопок вспомогательных контактов контакторов. Для аппаратов с несменными контактами электрическая износостойкость равна механической.

Коммутационная способность контактных аппаратов характеризует возможность включения и размыкания це-

Таблица 3-5

Условия коммутации главных контактов в цепях переменного тока

Категория применения	Характер нагрузки	Номинальный рабочий ток, А	Режим нормальных коммутаций						Режим редких коммутаций					
			Включение			Отключение			Включение			Отключение		
			$I/I_н$	$U/U_н$	cos φ	$I/I_н$	$U/U_н$	cos φ	$I/I_н$	$U/U_н$	cos φ	$I/I_н$	$U/U_н$	cos φ
АС-1	Практически безындукционная нагрузка	>10	1	1	0,95	1	1	0,95	1,5	1,1	0,95	1,5	1,1	0,95
АС-2	Пуск электродвигателей с фазовым ротором, торможение противовключением	>10	2,5	1	0,65	2,5	1	0,65	4	1,1	0,65	4	1,1	0,65
АС-3	Пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся электродвигателей	⩽17	6	1	0,65	1	0,17	0,65	10	1,1	0,65	8	1,1	0,65
		⩾17	6	1	0,35	1	0,17	0,35	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35
АС-4	Пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение неподвижных или медленно вращающихся электродвигателей, торможение противовключением	⩽17	6	1	0,65	6	1	0,65	12	1,1	0,65	10	1,1	0,65
		>17	6	1	0,35	6	1	0,35	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35

Таблица 3-6

Условия коммутации главных контактов в цепях постоянного тока

Категория применения	Характер нагрузки	Режим нормальных коммутаций						Режим редких коммутаций					
		Включение			Отключение			Включение			Отключение		
		$I/I_н$	$U/U_н$	L/R, мс	$I/I_н$	$U/U_н$	L/R, мс	$I/I_н$	$U/U_н$	L/R, мс	$I/I_н$	$U/U_н$	L/R, мс
ДС-1	Практически безындукционная нагрузка	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—
ДС-2	Пуск электродвигателей постоянного тока с параллельным возбуждением и отключение вращающегося двигателя	2,5	1	2	1	0,1	7,5	4	1,1	2,5	4	1,1	2,5
ДС-3	Пуск электродвигателей параллельного возбуждения, отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей, торможение противовключением	2,5	1	2	2,5	1	2	4	1,1	2,5	4	1,1	2,5
ДС-4	Пуск двигателей последовательного возбуждения и отключение вращающихся двигателей	2,5	1	7,5	1	0,3	10	4	1,1	15	4	1,1	15
ДС-5	Пуск двигателей последовательного возбуждения, отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей, торможение противовключением	2,5	1	7,5	2,5	1	7,5	4	1,1	15	4	1,1	15

ии как с определенными параметрами нагрузок в обычном расчетном режиме, называемом нормальным, так и при повышенных параметрах нагрузки в режиме, называемом предельным (режим редких коммутаций). В связи с этим различают нормальную коммутационную способность в цикле В—О, предельную коммутационную способность в цикле В—О и предельный ток включения в цикле В—О. Коммутация главных цепей электроприводов происходит в широком диапазоне значений токов, напряжений и параметров электрических цепей.

Все многообразие нагрузок, коммутируемых контактами в главной цепи крановых электроприводов, стандартизовано и объединено в девять групп, соответствующих типовым условиям работы электропривода: четыре группы для цепей переменного тока и пять групп для цепей постоянного тока. Группы переменного тока обозначаются индексом АС, группы постоянного тока — индексом ДС.

В табл. 3-5 и 3-6 приведены условия коммутации в цепях соответственно переменного и постоянного тока. В таблицах приняты следующие условные обозначения: I — ток, включаемый и отключаемый контактами; $I_н$ — номинальный ток контактов; U — напряжение, восстанавливающееся после полного размыкания контактов; $U_н$ — номинальное рабочее напряжение; значению $\cos\varphi$ соответствует сдвиг фаз в отключаемой цепи перед размыканием контактов; L/R — отношение индуктивности цепи к ее сопротивлению.

Требования к коммутационной способности вспомогательных контактов контакторов, реле, командоконтроллеров, кнопок, выключателей и других контактных элементов в цепях управления приведены в табл. 3-7.

В технических данных соответствующих аппаратов номинальные токи и коммутационная способность при нормированной электрической износостойкости указаны с учетом их использования при условиях, указанных в табл. 3-5 — 3-7.

При практическом использовании контактных аппаратов в реальных схемах условия нагрузки, как правило, не совпадают с нормативными параметрами, поэтому расчет коммутационной износостойкости главных контактов следует вести с учетом разных условий коммутации. Рекомендации по расчету приведены в § 3-5, *е*.

Вспомогательные контакты различных типов при использовании в конкретных схемах должны рассчитываться на коммутационную износостойкость с учетом поправочного коэффициента

$$I_{доп} = I_н a.$$

Таблица 3-7

Условия коммутации вспомогательных контактов

Род тока	Режим нормальных коммутаций								Режим редких коммутаций							
	Включение				Отключение				Включение				Отключение			
	$I/I_н$	$U/U_н$	$\cos\varphi$	L/R, с	$I/I_н$	$U/U_н$	$\cos\varphi$	L/R, с	$I/I_н$	$U/U_н$	$\cos\varphi$	L/R, с	$I/I_н$	$U/U_н$	$\cos\varphi$	L/R, с
Переменный	10	1	0,7	—	1	1	0,4	—	11	1,1	0,7	—	11	1,1	0,7	—
Постоянный	1	1	—	0,05	1	1	—	0,05	1,1	1,1	—	0,05	1,1	1,1	—	0,05

Значения коэффициента *a* приведены ниже.

Напряжение, В	Постоянный ток						Переменный ток			
	Износостойкость 1,0 млн. циклов			Износостойкость 2 млн. циклов			Износостойкость 1 млн. циклов		Износостойкость 2 млн. циклов	
	L/R, с			L/R, с			cos φ		cos φ	
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2
220	1,0	0,7	0,4	0,6	0,5	0,25	1,0	0,7	0,8	0,5
440	0,6	0,4	0,2	0,4	0,25	0,12	—	—	—	—
380	—	—	—	—	—	—	1,0	0,5	0,8	0,35
500	—	—	—	—	—	—	0,8	0,4	0,5	0,25

3-2. СИЛОВЫЕ КУЛАЧКОВЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

а) Назначение, конструкция и технические данные

Силовые кулачковые контроллеры относятся к категории аппаратов ручного управления. Они предназначаются для непосредственного управления двигателями постоянного и переменного тока различных грузоподъемных машин.

Простота конструкции и безотказность в работе, а также минимально возможные габариты относительно сложного коммутационного устройства предопределили широкое распространение силовых кулачковых контроллеров для электроприводов кранов с невысокими требованиями по износостойкости.

В крановых электроприводах используются контроллеры серий ККТ 60А и КВ 100, габаритные и установочные размеры которых приведены соответственно на рис. 3-1 и 3-2. Первые предназначены для управления асинхронными двигателями, вторые — для управления двигателями постоянного тока. Контроллеры указанных серий выполняют все функции, связанные с коммутацией главной цепи двигателя и цепей управления. Что касается защит-нулевой, нулевой блокировки, максимальной и путевой, то они осуществляются с помощью специальных устройств (см. § 6-1).

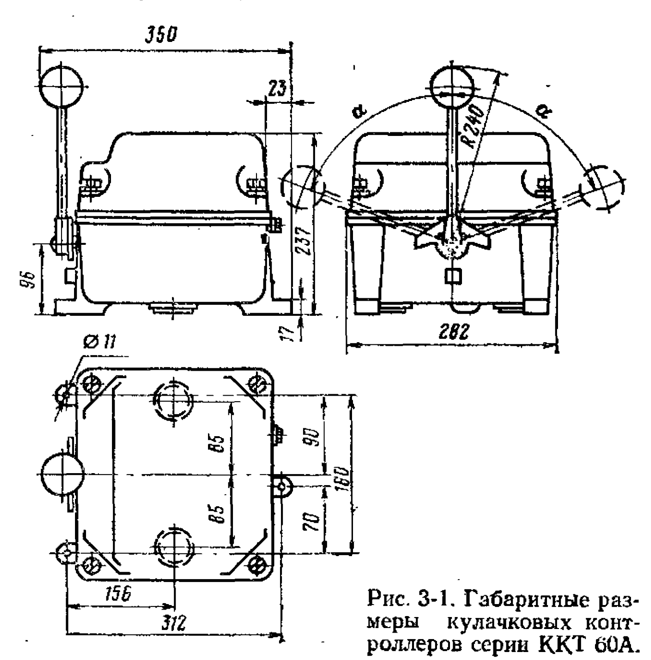


Рис. 3-1. Габаритные размеры кулачковых контроллеров серии ККТ 60А.

Контроллеры серий ККТ 60А и КВ 100 изготавливаются в защищенном корпусе с крышкой со степенью защиты IP33 (ККТ 60А) и IP44 (КВ 100). Привод кулачковых контроллеров КВ 100 осуществляется с помощью маховичка, а контроллеров ККТ 60А с помощью рукоятки. Усилие на рукоятке не более 50 Н, на маховичке не более 70 Н. Контроллеры рассчитаны для установки на горизонтальной плоскости лапами вниз, на вертикальной плоскости — рукояткой или маховичком вверх. Основой конструкции контроллеров кулачкового типа является блок коммутационных элементов с кулачковым валом, размещаемых в алюминиевом (ККТ 60А) и стальном (КВ 100) корпусах. Крышки выполняются из алюминиевых сплавов. Максимальное число контактных элементов — 12. При этом предусматривается двухрядное расположение элементов — по шесть в каждом ряду.

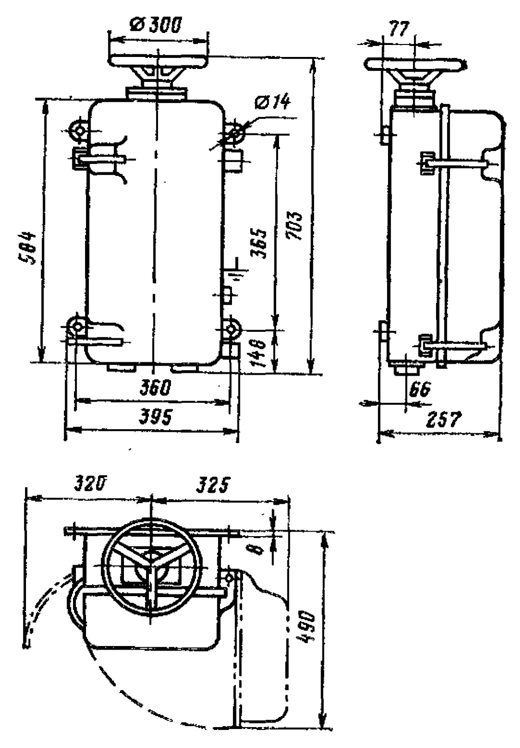


Рис. 3-2. Габаритные размеры кулачковых контроллеров серии КВ 100.

Основные конструктивные решения, принятые для крановых кулачковых контроллеров, видны из рис. 3-3, на котором показан общий вид наиболее широко применяемого кулачкового контроллера серии ККТ 60А. У контроллеров этой серии коммутационные элементы размещаются на двух пластмассовых рейках *6*. Привод элементов осуществляется с помощью кулачковых шайб, смонтированных на барабане *5*. Каждая из шайб управляет одновременно двумя кулачковыми элементами, размещенными на двух рейках. Кулачковые шайбы имеют определенный профиль для создания необходимой последовательности коммутации пары контактных элементов. Поворот кулачкового барабана производится рукояткой *4*. Главные контакты *2* контроллера выполнены из меди. Неподвижные контакты укреплены непосредственно на пластмассовых рейках, а подвижные контакты установлены на контактных рычагах *3* с шарнирно-пру-

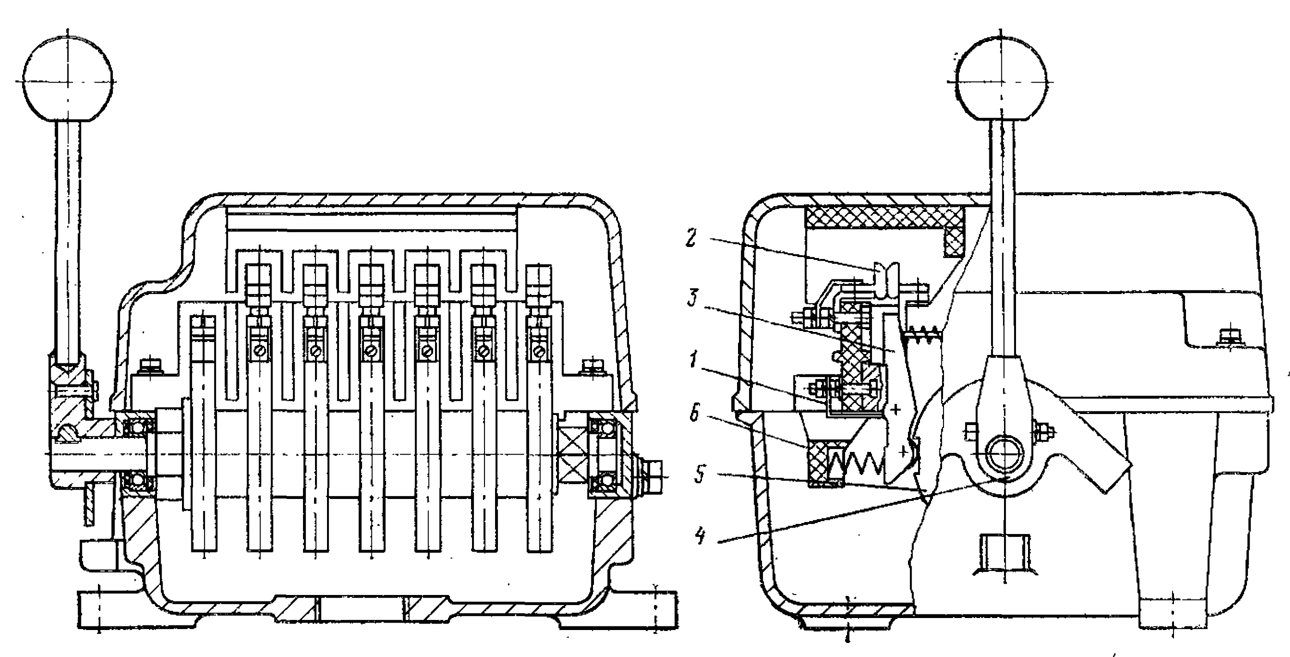


Рис. 3-3. Общий вид кулачкового контроллера серии ККТ 60А.

жинной связью между рычагом и контактом. Электрическая связь подвижных контактов с выводными зажимами осуществляется через гибкое соединение *1*.

При набегании гребня кулачковой шайбы на ролик контактного рычага последний поворачивается и контакты размыкаются. Наоборот, при сходе ролика с гребня шайбы рычаг под действием возвратной пружины переводит контакты в замкнутое состояние. Такая система обеспечивает высокую надежность коммутации, поскольку даже при приваривании главных контактов они механически открываются при повороте вала барабана. Профиль гребня кулачковых шайб и устройства фиксирования рабочих положений вала контроллера (состоит из храповика и фиксатора) обеспечивают эффективную установку вала в рабочие положения контроллера и исключение такого положения главных контактов, когда они не имеют определенного коммутационного состояния.

Угол поворота вала и размеры кулачковых шайб выбраны с таким расчетом, чтобы при предельном износе движущихся элементов и возможных производственных допусках сохранилась заданная программа замыкания контактов. Угол поворота вала между двумя фиксированными положениями имеет следующие значения:

13,0° для условий, когда обеспечиваются полное размыкание контактов одного элемента и полное замыкание контактов другого элемента;

18,5° между нулевым (соответствует нерабочему состоянию двигателя) и рабочими положениями для обеспечения определенной последовательности размыкания контактов;

26° для условий, когда между двумя рабочими положениями должно быть гарантировано одновременное включение контактов двух элементов, из которых один размыкает, а другой замыкает контакты.

Коммутация тока контактами контроллера естественная, без дугогасительных устройств. Для предотвращения перебросов дуги между элементами при размыкании больших токов с внутренней стороны крышки контроллера укреплены камеры, отделяющие коммутационные зоны элементов друг от друга.

В отличие от контроллеров ККТ 60А, у которых используется моноблочная конструкция коммутационных элементов, контроллеры постоянного тока серии КВ 1 имеют индивидуальные элементы, закрепляемые на металлических рейках. Принцип действия элементов коммутации аналогичен рассмотренному. Однако для гашения дуги при размыкании цепи постоянного тока в контроллерах КВ 1 предусматриваются узлы электромагнитного дугогашения на каждом из элементов, коммутирующих ток главной цепи. Узлы дугогашения, аналогичные соответствующим узлам электромагнитных контакторов, состоят из электромагнитной системы (катушки и магнитопровода) и дугогасительной камеры. Последняя помимо гашения дуги выполняет также функцию защитных перегородок, предотвращающих переброс дуги на корпус или другие токоведущие части. Контакты главной цепи выполняются не медными, как в ККТ 60А, а металлокерамическими из композиции серебро — окись кадмия. Кулачковые контроллеры ККТ 60А и КВ 1 выполняются с коммутационными элементами главного тока на номинальный ток 63 А. Кроме того, имеются кулачковые элементы для коммутации цепей управления.

Основные технические данные кулачковых элементов контроллеров приведены в табл. 3-8.

В табл. 3-9 приводятся основные технические данные изготавливаемых промышленностью контроллеров серий ККТ 60А и КВ 1. Номинальной мощностью контроллера является мощность управляемого им двигателя при номинальном напряжении и номинальном токе, отнесенном к режиму работы ПВ=40% при общей продолжительности каждого цикла не более 4 мин.

Кулачковые контроллеры постоянного тока выполняются в двух модификациях — КВ 1-01 и КВ 1-02. Первый из них используется для управления электродвигателями постоянного тока серии ДП и Д последовательного, смешанного и параллельного возбуждений механизмов горизонтального передвижения, а второй — для управления двигателями последовательного возбуждения механизмов подъема.

При управлении контроллерами КВ 1-02 и КВ 1-01 может быть реализован диапазон регулирования скорости 5 : 1. Область применения контроллеров КВ 1-01 и КВ 1-02 — краны легкого и среднего режимов работы.

Таблица 3-8

Основные данные кулачковых элементов

Назначение кулачковых элементов	Номинальный ток, А, при ПВ=100%	Максимальный ток включения, А		Максимальный ток отключения, А, при напряжении силовой цепи		Ток динамической и термической стойкости	Номинальный ток отключения, А		Расчетное напряжение отключения, В	
		Постоянный	переменный	Постоянный 220В при L/R=0,05с	Переменный, 50 Гц, 380 В при cos φ=0,5		Постоянный 220В при L/R=0,05с	Переменный, 50 Гц, 380 В при cos φ=0,5	Постоянный ток	Переменный ток
Элементы главного тока контроллера КВ 1	63	300	600	300	600	900	100	—	110	—
Элементы вспомогательного тока без дугогашения контроллеров КВ 1	10	50	50	0,7	10	—	0,5	5,0	220	380
Элементы главного тока контроллеров ККТ 60А	63	—	200	—	200	900	—	100	—	380

Таблица 3-9

Основные технические данные контроллеров ККТ 60А и КВ 1

Тип контроллера	Исполнение двигателя	Назначение контроллеров	Максимальное число рабочих положений		Номинальный ток кулачкового элемента главного тока, А, при ПВ=100%	Ток, А при ПВ=40%		Наибольший пусковой ток двигателя, А	Число включений в час	Износостойкость (электрическая), 10^6 циклов В—О	Масса, кг
			вперед, подъем, вправо	назад, спуск, влево		статор, якорь	ротор				
ККТ 61А	Асинхронный с фазным ротором	Для однодвигательных приводов всех типов механизмов	5	5	63	100 50	100 50	200 100	120 300	1 5	15
ККТ 62А с реверсором ДР 160	То же	Для двухдвигательных приводов механизмов передвижения	5	5	63	100 —	100 50	200 100	120 300	1 5	15
ККТ 68А с реверсором ДР 160	То же	Для однодвигательных приводов всех типов механизмов	5	5	63	—	150 75	300 150	120 300	1 5	15
ККТ 65А с магнитным контроллером ТРД 160	То же	Для однодвигательных приводов механизмов подъема	5	5	63	100 50	100 50	200 100	120 300	1 5	15
ККТ 69А с реверсором ДР 160 и магнитным контроллером ТРД 160	Асинхронный с фазным ротором	Для однодвигательных приводов механизма подъема	5	5	63	—	150 75	300 150	120 300	1 5	15
ККТ 63А	Асинхронный с короткозамкнутым ротором	Для однодвигательных приводов всех типов механизмов	1	1	63	75 35	— —	200 100	120 300	1 5	15
КВ 1-01	Двигатель постоянного тока последовательного, смешанного и параллельного возбуждений	Для однодвигательных приводов механизмов передвижения	6	6	63	80	—	200	120	1	45
КВ 1-02	Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения	Для однодвигательных приводов механизмов подъема	5	5	63	80	—	200	120	1	45

Основными исполнениями кулачковых контроллеров переменного тока являются контроллеры для управления асинхронными двигателями с фазным ротором серии MTF (МТН). Контроллеры ККТ 61А и ККТ 68А применяются на механизмах подъема и передвижения, а контроллер ККТ 62А, управляющий двумя двигателями, — на механизмах передвижения. Указанные исполнения контроллеров позволяют в зоне больших нагрузок осуществлять регулирование скорости электродвигателей в диапазоне 2,5 : 1 за счет введения в цепь ротора регулировочных ступеней резисторов. Получить такой диапазон в зоне малых нагрузок представляется возможным только при толчковой работе (многократное переключение с рабочего на нулевое положение и обратно), что является одним из недостатков этих контроллеров.

Контроллеры ККТ 61А, ККТ 62А и ККТ 68А рекомендуется применять для тихоходных кранов малой и средней грузоподъемности легкого и среднего режимов работы с невысокими требованиями к диапазону регулирования скорости и точности остановки.

В серии контроллеров переменного тока предусмотрены исполнения ККТ 65А и ККТ 69А (предназначаются только для механизмов подъема) с улучшенными регулировочными и энергетическими показателями. Контроллеры ККТ 65А и ККТ 69А, выполняемые с использованием принципа динамического торможения с самовозбуждением, обеспечивают устойчивый диапазон регулирования скорости 8 : 1. Указанные исполнения применяются вместе с магнитным контроллером ТРД 160, предназначенным для получения режима динамического торможения. Кулачковые контроллеры ККТ 65А и ККТ 69А обеспечивают заданный диапазон регулирования скорости без применения толчкового режима работы, поэтому управление ими несколько проще и удобнее, чем контроллерами ККТ 61А и ККТ 68А. Контроллеры ККТ 65А и ККТ 69А могут быть рекомендованы для кранов легкого, среднего, а также тяжелого режимов работы с большими скоростями подъема и спуска, а также с более жесткими требованиями к точности остановки.

Для управления односкоростными короткозамкнутыми двигателями серии MTKF (МТКН) механизмов подъема и передвижения находят применение кулачковые контроллеры типа ККТ 63А. Функции управления этим контроллером сводятся к включению и отключению двигателя без регулирования его частоты вращения.

б) Износостойкость силовых кулачковых контроллеров

Контроллеры серий КВ 1 и ККТ 60А имеют механическую износостойкость $2{,}5\cdot10^6$ циклов перевода из нулевого в крайнее положение и обратно. Электрическая износостойкость контроллеров КВ 1 составляет $1\cdot10^5$ циклов перевода из нулевого в крайнее рабочее положение и обратно при коммутации токов двигателей, указанных в табл. 3-9. При снижении этих токов в пределах 50 и 30% коммутационная износостойкость составляет соответственно $3\cdot10^5$ и $5\cdot10^5$ циклов.

Контроллеры переменного тока серии ККТ 60А имеют электрическую износостойкость несколько выше, чем контроллеры серии КВ 100, что определяется лучшими условиями коммутации на переменном токе. Кроме того, у контроллеров переменного тока отсутствуют критические токи во всем рабочем диапазоне от нуля до максимальных токов перегрузки. У контроллеров же постоянного тока имеются критические токи главной цепи в интервале от 1 до 8 А при напряжении между разомкнутыми контактами выше 150 В. Этот фактор также улучшает параметры электрической износостойкости контроллеров переменного тока. Электрическая износостойкость кулачковых контроллеров ККТ 60А при различных условиях использования характеризуется данными табл. 3-9.

в) Особенности выбора кулачковых контроллеров

Силовые крановые кулачковые контроллеры по возможностям коммутационных элементов при редких коммутациях рассчитаны на управление двигателями переменного тока мощностью до 30 кВт и постоянного тока до 20 кВт. Дальнейший рост мощностей приводит к недопустимому увеличению габаритов контроллеров и соответственно усилий в органах ручного управления.

Для расширения верхнего предела мощностей управляемых двигателей в серии контроллеров ККТ 60А предусмотрены исполнения контроллеров ККТ 68А и ККТ 69А, применяемых вместе с реверсором типа ДР 160 на номинальный ток 160 А. Увеличение мощности здесь достигается как за счет контакторного реверсора, имеющего гораздо большую коммутационную способность, чем контакты контроллера, так и за счет включения резисторов в цепи ротора в две параллельные группы. Такое включение позволяет снизить ток в контактах контроллера до 60% номинального тока роторной обмотки. В результате максимальная мощность двигателей, управляемых контроллерами ККТ 68А и ККТ 69А, возрастает до 50—60 кВт. На такие же пределы мощностей рассчитаны контроллеры ККТ 62А, которые предназначаются для управления двумя двигателями. В этом исполнении коммутация роторных цепей каждого двигателя осуществляется контактами контроллера, а цепей статора двух двигателей — одним реверсором типа ДР 160.

При выборе кулачковых контроллеров для крановых механизмов следует учитывать, что предельная мощность кулачкового контроллера меняется в зависимости от режима работы механизма и определяется в основном износостойкостью коммутационных контактных элементов контроллера. В свою очередь возможности кон-

Таблица 3-10

Предельные мощности кулачковых контроллеров по условиям электрической износостойкости

Тип контроллера	Напряжение сети, В	Предельные значения мощностей, кВт, при режимах				
		Л	С		Т	
			до 60 включений в час	до 150 включений в час	до 150 включений в час	до 300 включений в час
ККТ 61А	220 380	24 40	20 30	15 20	8 10	5 7
ККТ 65А	220 380	24 40	20 30	18 22	13 18	10 15
ККТ 62А	220 380	2×15 2×25	2×12 2×20	2×10 2×12	2×7 2×10	— —
ККТ 68А	220, 380	60	50	30	15	10
ККТ 69А	220, 380	60	50	35	25	20
ККТ 63А	220, 380	15	—	—	—	—
КВ 1-01, КВ 1-02	220 440	25 25	20 18	15 10	— —	— —

тактных элементов в повторно-кратковременном режиме определяются условиями и режимом коммутации цепей двигателя. Исходя из указанных факторов, выбор кулачкового контроллера необходимо производить таким образом, чтобы даже при единичных включениях максимальные токи, коммутируемые контроллером, не превышали соответствующих значений, приведенных в табл. 3-9.

При повышении числа включений контроллера должны учитываться условия электрической износостойкости контактных элементов при заданных условиях эксплуатации.

В табл. 3-10 приводятся значения предельных мощностей двигателей, управляемых кулачковыми контроллерами, при различных режимах работы крановых механизмов.

При выборе контроллеров для управления короткозамкнутыми двигателями следует учитывать, что эти контроллеры могут быть использованы только в электроприводах механизмов легкого режима работы.

3-3. КОМАНДОКОНТРОЛЛЕРЫ

а) Назначение и классификация

Командоконтроллеры являются аппаратами ручного управления. Они предназначены для дистанционного управления крановыми механизмами и рассчитаны для коммутации катушек электромагнитных аппаратов (контакторов и реле), цепей управления преобразовательных устройств, регуляторов и других аналогичных нагрузок. Командоконтроллеры могут встраиваться в кресло крановщика, пульт управления, а также устанавливаться самостоятельно. Во всех этих случаях должна быть обеспечена степень защиты IP20.

Различают два вида крановых командоконтроллеров: командоконтроллеры на основе контактных элементов и на основе бесконтактных элементов (сельсиновые командоконтроллеры).

б) Контактные командоконтроллеры

Контактные командоконтроллеры являются многоцепными аппаратами с заданной программой замыкания и размыкания контактов при повороте приводного вала вручную или через механический привод. В крановых электроприводах находят применение командоконтроллеры серии КП 1000. В табл. 3-11 приведены основные технические данные контроллеров этой серии.

Общий вид командоконтроллера серии КП 1000 показан на рис. 3-4. Конструкция контроллера предусматривает двухрядное размещение контактов на двух контактных рейках *6*. Одна кулачковая шайба *4* приводит в действие пару контактных элементов на противопо-

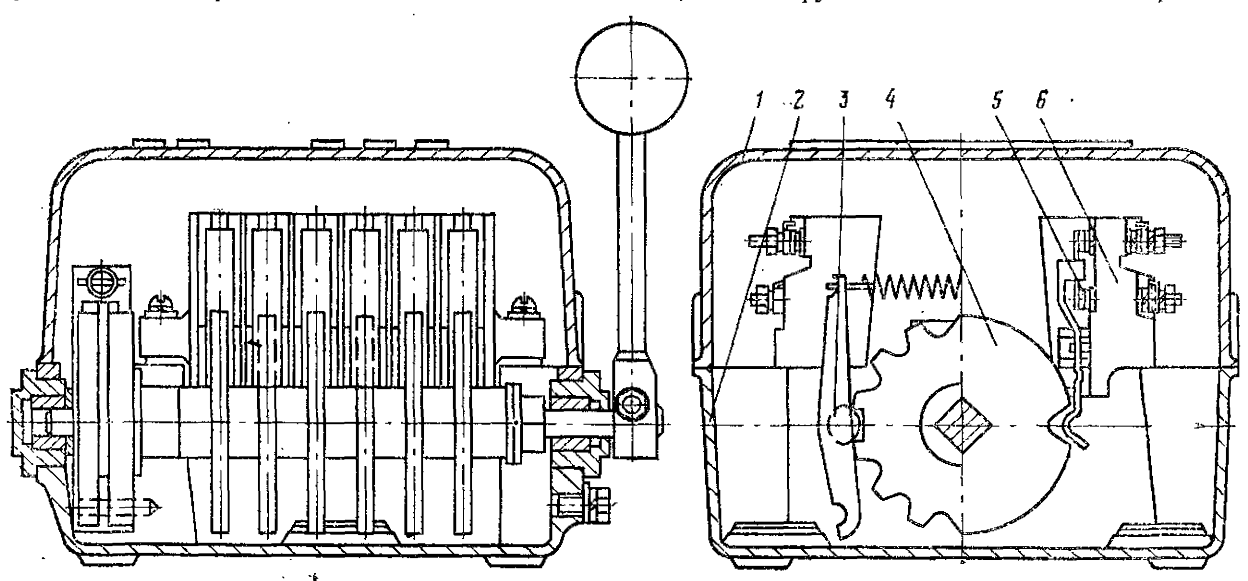


Рис. 3-4. Общий вид командоконтроллера серии КП 1000.

Таблица 3-11

Основные технические данные контроллеров серии КП 1000

Исполнение командоконтроллера	Назначение	Максимальный коммутационный ток при индуктивной нагрузке, А				Ток оперативной коммутации, А			Ток продолжительного режима, А	Электрическая износостойкость, 10^6 циклов В—О	Механическая износостойкость, 10^6 циклов В—О	Масса, кг
		постоянный при $L/R \leqslant 0,05$ с			переменный при $\cos\varphi \geqslant 0,4$	постоянный при напряжении 220 В $L/R = 0,01$ с	переменный при $\cos\varphi = 0,3$					
		110 В	220 В	440 В	до 500 В		220 В	380 В				
КП 1200	Для индивидуальной установки	2,5	1,5	0,5	10	0,7	3	2	10	1	5	7,0
КП 1400 КП 1500 КП 1600 КП 1700	Для установки в пределах кресла крановщика	2,5	1,5	0,5	10	0,7	3	2	10	1	5	7,5

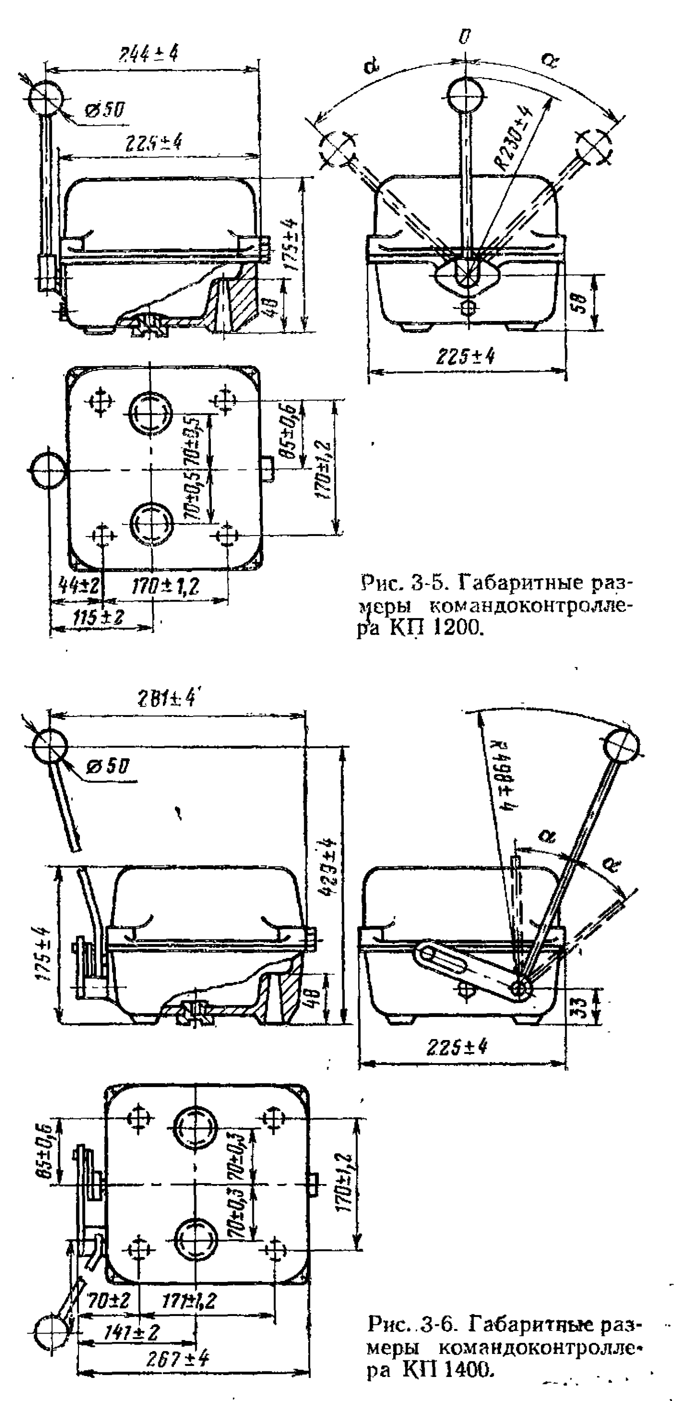


Рис. 3-5. Габаритные размеры командоконтроллера КП 1200.

Рис. 3-6. Габаритные размеры командоконтроллера КП 1400.

ложных рейках. Контактные элементы имеют мостиковые контакты *5* с серебряными напайками, что обеспечивает надежный контакт в цепях управления при малых коммутируемых токах и напряжениях. Корпус *2* и крышка *1* командоконтроллера изготавливаются из алюминиевых сплавов. Степень защищенности IP21. Рабочие и нулевое положения кулачкового барабана фиксируются с помощью храповикового устройства фиксатора *3*, причем на фиксаторе имеются также упоры крайних положений рукоятки. Подвод проводов к командоконтроллеру осуществляется через отверстие в дне корпуса. Командоконтроллеры имеют различные исполнения приводных рукояток, что позволяет размещать в пределах кресла крановщика до шести командоконтроллеров.

Предусмотрены следующие исполнения командоконтроллеров: с нормальной рукояткой (КП 1200), удлиненной (КП 1400, КП 1500, КП 1600, КП 1700), с рукояткой для грейферного привода (КП 1200Д), удлиненной для грейферного привода (КП 1600Д), с нормальной рукояткой и самовозвратом ее в нулевое положение (КП 1200С). Габаритные размеры командоконтроллеров с нормальной (КП 1200) и удлиненной (КП 1400) рукоятками приведены на рис. 3-5 и 3-6.

Таблица 3-12

Номера таблиц замыкания контактов	Положения контроллеров										
	„Спуск", „Влево", „Назад"						„Подъем", „Вправо", „Вперед"				
					Одна скорость		Одна скорость				
				Две скорости			Две скорости				
			Три скорости				Три скорости				
		Четыре скорости					Четыре скорости				
	Пять скоростей						Пять скоростей				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
1						×					
2	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×
3							×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×						
5	×	×	×	×				×	×	×	×
6	×	×	×						×	×	×
7	×	×								×	×
8	×										×
9				×			×	×	×	×	×
10						×	×	×	×	×	×
11	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
12	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
13			×							×	×
14			×						×	×	×
15						×	×				
16	×	×	×	×	×			×	×	×	×
17										×	×
18	×	×									
19	×	×	×				×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	×	×					
21								×	×	×	×
22	×	×	×	×							
23				×	×		×	×			
24					×	×	×	×			
25	×						×				
26					×		×				
27	×	×							×	×	×
28		×	×		×	×	×	×	×	×	×
29	×	×	×	×	×				×	×	×
30	×	×	×	×					×	×	×
31	×	×	×	×			×	×	×	×	×
32	×	×	×					×	×	×	×
33	×	×	×							×	×
34	×					×	×				

Продолжение табл. 3-12

Номера таблиц замыкания контактов	Положения контроллеров										
	„Спуск", „Влево", „Назад"						„Подъем", „Вправо", „Вперед"				
					Одна скорость		Одна скорость				
				Две скорости			Две скорости				
			Три скорости				Три скорости				
		Четыре скорости					Четыре скорости				
	Пять скоростей						Пять скоростей				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
35	×	×					×	×			
36					×		×	×	×	×	×
37					×	×	×	×	×	×	×
38		×			×		×				
39	×	×	×								
40					×	×					
41				×	×		×				
42		×			×	×	×				
43	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×
44	×	×	×	×		×	×	×	×	×	
45					×	×	×				
46	×					×	×	×	×		
47									×	×	×
48									×		
49	×	×	×	×	×	×	×				
50	×	×	×	×	×	×	×	×			
51	×	×	×	×	×				×		
52						×	×	×	×		
53				×	×		×	×	×	×	×
54				×	×	×	×				
55	×	×	×						×		
56	×	×	×	×	×		×	×			
57	×	×							×		
58	×								×	×	
59	×	×	×			×	×	×	×		
60	×	×				×	×	×	×		
61	×					×	×	×			
62	×	×	×	×	×			×			
63	×	×	×	×	×	×	×		×		
64			×								
65				×	×	×	×	×	×	×	×
66			×				×	×	×	×	×
67			×	×	×	×					
68	×	×	×	×					×		

Командоконтроллеры с удлиненной рукояткой предназначены для встраивания в кресло крановщика. Рукоятка здесь связана с кулачковым барабаном через кулисный привод, смонтированный на командоконтроллере. Такой привод дает возможность уменьшить угол поворота рукоятки до 25°, что важно с точки зрения удобства обслуживания нескольких командоконтроллеров, встраиваемых в кресло. Для контроллеров с нормальной рукояткой максимальный угол поворота составляет 72° при числе положений 5—0—5 и 18,5° при числе положений 1—0—1.

Усилие на рукоятке командоконтроллера не превышает 50 Н.

Таблица 3-13

Исполнения контроллеров по таблицам включения контактов

Тип командоконтроллера	Число положений: «Спуск», «Влево», «Назад»	Число положений: «Подъем», «Вправо», «Вперед»	Число цепей	№ таблиц замыкания контактов согласно табл. 3-12
КП 1201	4	4	12	1, 2, 4, 7, 17, 24, 30, 33, 47, 48, 49, 4
КП 1203	5	5	12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 26, 1, 4, 3
КП 1204	4	4	12	1, 50, 49, 30, 17, 2, 51, 3, 52, 47, 33, 7
КП 1205	1	1	6	1, 1, 4, 3, 4, 3
КП 1210, КП 1610	3	3	6	1, 2, 4, 3, 5, 6
КП 1213	5	5	12	1, 2, 4, 3, 4, 3, 22, 21, 6, 5, 7, 8
КП 1214	4	4	11	1, 2, 4, 3, 4, 3, 5, 6, 7, 1, 26
КП 1215	4	5	12	1, 2, 3, 10, 11, 12, 4, 16, 17, 39, 35, 36
КП 1219	5	5	12	1, 2, 3, 10, 11, 12, 4, 16, 58, 39, 35, 36
КП 1220	5	5	12	1, 2, 4, 3, 10, 3, 43, 11, 59, 60, 61, 25
КП 1221	5	5	12	1, 2, 4, 3, 10, 3, 32, 60, 61, 44, 46, 34
КП 1222, КП 1422, КП 1522	2	2	6	1, 2, 5, 4, 3, 1
КП 1223	4	3	12	1, 2, 4, 47, 4, 3, 47, 30, 27, 6, 49, 65
КП 1226, КП 1526, КП 1726	4	4	6	1, 5, 3, 4, 6, 7
КП 1227, КП 1727	3	3	6	1, 41, 4, 3, 6, 31
КП 1228	3	3	6	2, 3, 23, 4, 23, 26
КП 1230, КП 1230С	1	1	10	1, 2, 4, 3, 4, 3, 20, 10, 1, 20
КП 1266, КП 1466, КП 1566, КП 1666, КП 1766	5	5	12(4)	1, 2, 4, 3
КП 1451, КП 1651	4	4	12	1, 65, 37, 32, 18, 2, 66, 4, 67, 39, 27, 7
КП 1452, КП 1652, КП 1762	4	4	12	1, 2, 39, 3, 3, 54, 64, 18, 37, 32, 27, 7
КП 1211Д	4	4	12	1, 2, 37, 32, 6, 33, 39, 53, 39, 67, 4, 3
КП 1212Д	4	4	12	1, 2, 47, 55, 47, 56, 49, 68, 24, 57, 3, 4
КП 1654Д	4	3	12	1, 2, 4, 3, 31, 32, 39, 40, 27, 4, 22, 19
КП 1657Д	3	3	12	1, 2, 3, 4, 16, 30, 47, 15, 39, 3, 21, 29
КП 1664Д	5	4	12	1, 2, 31, 9, 39, 14, 13, 28, 40, 38, 42, 13
КП 1665Д	4	3	12	1, 2, 16, 62, 47, 6, 27, 63, 15, 26, 45, 27

Порядок замыкания контактов командоконтроллеров определяется профилем шайб кулачкового барабана.

В табл. 3-12 приведены возможные таблицы комбинаций замыканий контроллеров командоконтроллеров, а в табл. 3-13 указаны применяемые конкретные исполнения командоконтроллеров и соответствующие им таблицы замыканий контактов.

При необходимости можно заказать командоконтроллеры с непрофилированными кулачковыми шайбами (КП 1266, КП 1466, КП 1566, КП 1666, КП 1766) и установить желаемый порядок замыкания контактов, выпилив профиль шайб по шаблону, прилагаемому к командоконтроллеру.

в) Сельсинные командоконтроллеры

Сельсинные командоконтроллеры, предназначены в основном для управления крановыми электроприводами, построенными на базе бесконтактных систем регулирования, а также для управления грузоподъемными магнитами. В сельсинных командоконтроллерах в зависимости от положения рукоятки непрерывно меняется сигнал выходного напряжения. В крановых электроприводах находят применение командоконтроллеры типа КП 1800, построенные на основе контроллеров серии КП 1000.

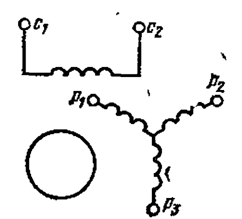


Рис. 3-7. Схема включения сельсина в командоаппарате с выходом переменного тока.

Контроллеры КП 1800 выполняются с выходом на постоянном и переменном токе. Для осуществления нулевой защиты, а также построения различных вариантов схем электроприводов в сельсинных командоконтроллерах предусматривается до шести контактных элементов, коммутационная способность и электрическая износостойкость которых соответствует данным табл. 3-11.

Контактные элементы имеют общий привод от вала с кулачковыми шайбами, связанный с ротором сельсина. Число фиксированных положений — до пяти в каждую сторону. Сельсинные командоконтроллеры типа КП 1800 имеют такие же массу и габариты, что и контроллеры серии КП 1200.

В сельсинных командоконтроллерах типа КП 1800 применен бесконтактный сельсин типа БД 404А, работающий в режиме поворотного трансформатора. Схема включения сельсина в командоконтроллере с выходом на переменном токе приведена на рис. 3-7. Однофазная статорная обмотка (выводы c_1—c_2) подключается к сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением $110^{+10\%}_{-15\%}$ В. При этом напряжение на выходе командоконтроллера (выводы p_1—p_3) при угле поворота ротора сельсина на 60° составляет $43^{+10\%}_{-15\%}$ В. Ток, потребляемый командоконтроллером, не превышает 0,44 А при потребляемой мощности 15 Вт.

Схема включения сельсинного командоконтроллера с выходом на постоянном токе приведена на рис. 3-8. Схемой предусматривается два выхода — *I* и *II*. В качестве нагрузки здесь могут быть использованы, в частности, обмотки управления магнитных усилителей. Выход *I* (выводы *a* и *b*) формируется разностью линейных напряжений U_1—U_3, создаваемой обмотками p_1—p_3 через полупроводниковые выпрямители B_1 и B_2. Падение напряжения в балластных сопротивлениях $R_{б1}$ и $R_{б2}$, шунтируемых емкостями C_1 и C_2, имеют разные полярности (рис. 3-9, *а*), благодаря чему на нулевом положении командоконтроллера напряжение выхода равно нулю. Выпрямители B_3 и B_4 обеспечивают зону нечувствительности в нулевом положении. Выходные характеристики командоконтроллера приведены на рис. 3-9, *б*. Напряжение на выходе *I*, как видно из рисунка, обращается в нуль при углах поворота φ=0, 90 и 270°.

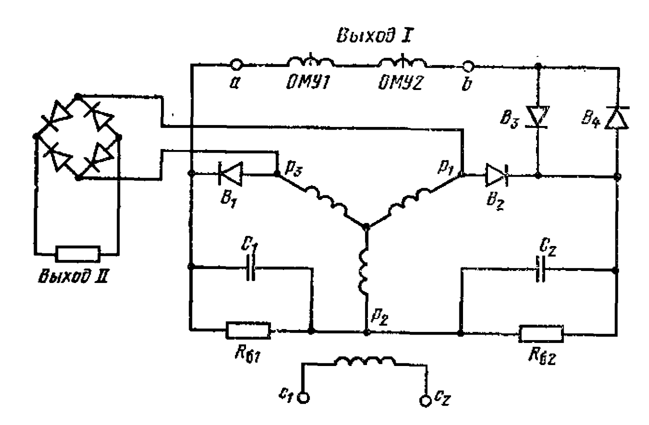


Рис. 3-8. Схема сельсинного командоконтроллера с выходом постоянного тока.

ОМУ1, ОМУ2 — обмотки управления магнитного усилителя.

С точки зрения нагрева обмоток более предпочтительны углы поворота 90 и 270° (в этом случае напряжение U_2 средней фазы сельсина равно нулю).

Напряжение выхода *II* представляет собой выпрямленное линейное напряжение между первой и третьей фазами сельсина. Два выхода сельсинного командоконтроллера используются, как правило, в электроприводах с двигателями постоянного тока. На выход сельсина здесь обычно подключается магнитный усилитель малой

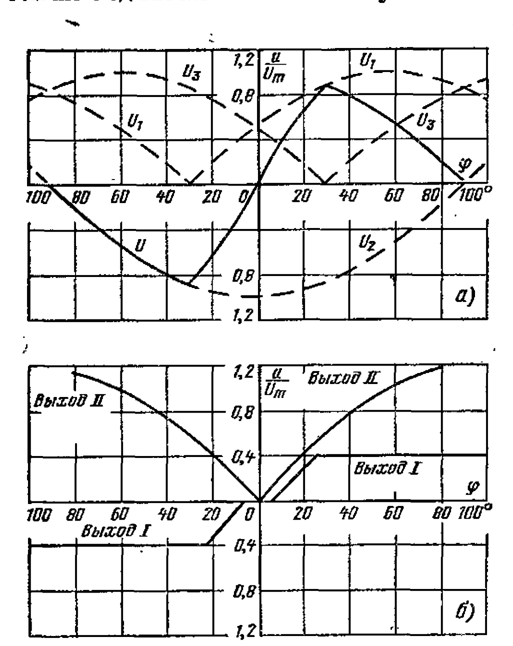


Рис. 3-9. Выходные характеристики сельсинного командоконтроллера.

мощности, который насыщается при углах поворота сельсина 25—30°, в то время как максимальный угол поворота командоконтроллера составляет 65—70°. При углах $\varphi > 25 \div 30°$ выход *I* насыщенного промежуточного магнитного усилителя обеспечивает поддержание неизменного напряжения преобразователя, питающего якорь двигателя, а выход *II* позволяет в необходимых пределах ослаблять поле двигателя.

3-4. ПУЛЬТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Согласно правилам Гостехнадзора все вновь проектируемые и строящиеся краны с целью удобства управления их механизмами должны оснащаться малогабаритными пультами управления. В настоящее время имеется несколько разновидностей таких пультов. Как правило, все они конструктивно компонуются вместе с креслом крановщика и имеют помимо органов управления механизмами крана также аппараты контроля и сигнализации.

Одним из исполнений, получившим наибольшее применение на кранах, является пульт управления типа ДКЮ-S1, предназначенный для непосредственного и дистанционного управления крановыми электродвигателями переменного тока серии MTF и MTH. Этот пульт представляет собой комплектное устройство, рассчитанное на управление четырьмя механизмами крана. Он состоит из двух (правой и левой) колонок с вмонтированной аппаратурой и креслом крановщика, расположенного между колонками. Габаритные и установочные размеры пульта показаны на рис. 3-10. Масса пульта 100 кг. Пульт выполняется со степенью защиты IP40. Рабочее положение пульта вертикальное с креплением на горизонтальной плоскости.

В каждую колонку пульта (рис. 3-11) встраиваются: два или один кулачковых контроллера *1*; две нажимные кнопки *2*, каждая с одним замыкающим и одним размыкающим контактами на длительный ток 6 А; четыре сигнальные лампочки *3*. На колонках устанавливаются также: на правой — телефонный аппарат *4*, на левой — вольтметр с переключателем *5* для контроля напряжения в каждой фазе, амперметр (трансформатор тока в состав пульта не входит), трансформатор напряжения для питания сигнальных ламп. В зависимости от назначения пульты имеют исполнения, отличающиеся количеством и электрическими схемами контроллеров, наличием на определенной колонке пульта спаренного (одна рукоятка на два контроллера) или раздельного (каждый контроллер управляется своей рукояткой) привода с общим разъемным запором.

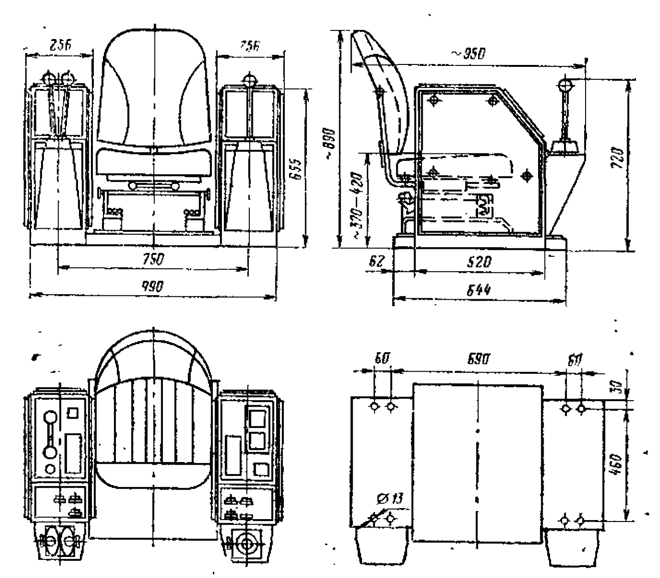


Рис. 3-10. Габаритные размеры пульта управления.

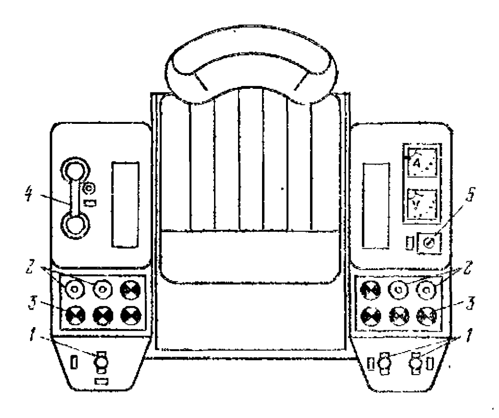


Рис. 3-11. Размещение электроаппаратуры на пульте управления.

Кулачковые контроллеры, встраиваемые в пульт, имеют до 12 кулачковых элементов при максимальном числе позиций 5—0—5 и выполняются с таблицей замыкания элементов по схемам, аналогичным схемам кулачковых контроллеров ККТ 61А, ККТ 62А и ККТ 68А (см. § 3-2). При этом реализуются следующие мощности в режиме ПВ=40% и напряжении 380 В: 7,5 кВт при работе по схеме ККТ 61А, 15 кВт по схеме ККТ 68А, 2×7,5 кВт по схеме ККТ 62А.

Пульты, работающие по схемам контроллеров ККТ 62А и ККТ 68А, должны комплектоваться контакторным реверсором на 160 А, из расчета одного реверсора на каждый из контроллеров. При дистанционном управлении кулачковые контроллеры могут иметь таблицы замыкания контактов, так же как и для командоконтроллеров КП 1000 (см. § 3-3). Контакты контроллеров пульта рассчитаны на ток 35 А в режиме ПВ=40%.

Коммутационная способность этих контактов при индуктивной нагрузке с постоянной времени не более 0,05 с (на постоянном токе) и с коэффициентом мощности не менее 0,4 (на переменном токе) составляет:

Ток включения, А:	
переменный при напряжении до 380 В	75
постоянный при напряжении до 220 В	25
Ток отключения, А:	
переменный при напряжении до 380 В	35
постоянный при напряжениях:	
110 В	2,5
220 В	1,5

Электрическая износостойкость контактов контроллеров пульта составляет:

при работе в качестве силового кулачкового контроллера на переменном токе — не менее $5 \cdot 10^5$ циклов В—О с числом включений в час до 250;

при работе в качестве командоконтроллера на переменном токе с нагрузкой не более 10 А—$1 \cdot 10^6$ циклов В—О с числом включений в час до 600; при работе в качестве командоконтроллера на постоянном токе и коммутации токов, вдвое меньших токов, оговорен-

ных ранее, — 5·10⁵ циклов В—О с числом включений в час до 600.

Механическая износостойкость контактов контроллеров пульта не менее 2,5·10⁶ циклов В—О

3-5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОНТАКТОРЫ

а) Классификация и назначение

Контакторы используются в системах управления крановыми электроприводами для осуществления коммутации тока в главных цепях при дистанционном управлении. В крановом электроприводе применяются контакторы только с электромагнитным приводом.

Общие технические требования к контакторам сформулированы в ГОСТ 11206—77. Высокий уровень требований по числу включений, необходимость исключительно надежной коммутации цепей при различных нагрузках предопределили применение в крановых электроприводах контакторов 3-го и 10-го классов по допустимому числу включений с механической износостойкостью не ниже 3 млн. циклов и рассчитанных для коммутации по категориям АС-2—АС-4 (переменный ток) и ДС-2—ДС-5 (постоянный ток).

В соответствии со шкалой номинальных токов в крановых электроприводах переменного тока используются шесть величин контакторов, имеющих следующие номинальные токи: 10, 25, 63, 160, 250, 400 А. На постоянном токе используются пять величин контакторов, имеющие номинальные токи: 63, 100, 160, 250, 630 А. Контакторы на токи меньше 63 А могут быть рекомендованы для использования в цепях управления или в цепях, где токи короткого замыкания ограничены сопротивлением монтажных проводов и не превышают 10—20-кратного значения номинальных токов этих аппаратов. Для коммутации в главных цепях предпочтительным является применение контакторов с номинальными токами 63 А и выше.

Контакторы, применяемые в крановых электроприводах, выполняются для эксплуатации в условиях умеренного (У), тропического (Т) и холодного (ХЛ) климата. Степень защиты — IP00.

б) Контакторы серий КПВ 600, КТПВ 600

Контакторы серии КПВ 600 предназначены для коммутации главных цепей электроприводов постоянного тока. Контакторы этой серии имеют два исполнения: с одним замыкающим главным контактом (КПВ 600) на номинальные токи 100, 160, 250 и 630 А; с одним размыкающим главным контактом (КПВ 620) на номинальные токи 160 и 250 А. Первые из них рассчитаны для работы в цепях с напряжением 220 В. При нечастых срабатываниях (до 150 в час) контакторы пригодны для работы при напряжении 440 В. Контакторы с замыкающими контактами на номинальные токи 250 и 630 А при редких срабатываниях могут быть использованы в системах электроприводов постоянного тока с вращающимися или статическими преобразователями при напряжении до 600 В.

Контакторы КПВ 620 предназначены в основном для шунтирования обмотки якоря двигателя постоянного тока при динамическом торможении и рассчитаны на коммутацию цепей с напряжением до 220 В.

Контакторы серии КТПВ 600 являются модификацией серии КПВ 600 и предназначаются для работы в силовых цепях переменного тока при напряжении до 380 В с частотой 50 и 60 Гц или в цепях постоянного тока при напряжении до 220 В. В цепях постоянного тока эти контакторы пригодны в основном только в качестве реверсивных контакторов. При этом необходимо, чтобы последовательно с контактами реверсивных контакторов были включены главные контакты линейного контактора. Контакторы серии КТПВ выполняются с двумя замыкающими главными контактами.

Основные технические данные контакторов серии КПВ 600 и КТПВ 600 приведены в табл. 3-14 и 3-15. Данные по контакторам КТПВ 600 относятся к условиям их работы в цепях переменного тока.

На рис. 3-12 показана конструкция контактора КПВ с одним замыкающим главным контактом. Контактор состоит из основной скобы магнитопровода *4*,

Таблица 3-14

Основные технические данные контакторов постоянного тока серий КПВ и КПД

Тип контактора	Ток, А: номинальный	Ток, А: режим нормальных коммутаций: включения	Ток, А: режим нормальных коммутаций: отключения	Ток, А: режим редких коммутаций: включения	Ток, А: режим редких коммутаций: отключения	Число включений в час	Износостойкость, 10⁶ циклов В—О: механическая	Износостойкость, 10⁶ циклов В—О: электрическая: для категорий ДС-2 и ДС-4	Износостойкость, 10⁶ циклов В—О: электрическая: для категорий ДС-3 и ДС-5	Собственное время срабатывания, с: втягивания	Собственное время срабатывания, с: отпадания	Мощность катушки, Вт	Число и исполнение главных контактов: замыкающие	Число и исполнение главных контактов: размыкающие	Максимальное число вспомогательных контактов	Масса, кг	Габаритные размеры, мм: длина	Габаритные размеры, мм: ширина	Габаритные размеры, мм: высота
КПБ 602	100	250	100	1000	1000	1200	20	1	0,08	0,13	0,07	30	1	—	4	5,5	190	220	240
КПВ 603	160	400	160	1600	1600	1200	20	1	0,08	0,16	0,12	40	1	—	4	8,5	195	260	285
КПВ 604	250	625	250	2500	2500	1200	20	1	0,08	0,28	0,12	50	1	—	4	13,5	195	305	360
КПВ 605	630	1570	630	6300	6300	1200	20	1	0,07	0,37	0,23	70	1	—	4	30,0	235	415	500
КПВ 623	160	160	160	320	320	600	10	—	0,05	0,09	0,12	40	—	1	3	8,5	150	250	295
КПВ 624	250	250	250	500	500	600	10	—	0,05	0,1	0,16	50	—	1	3	14	153	305	375
КПД 110Е	25	60	25	250	250	1200	10	1	—	0,1	0,07	18	1	—	2	1,6	90	142	165
КПД 111Е	63	160	63	630	630	1200	10	1	0,05	0,12	0,08	26	1	—	2	4	115	142	195
КПД 121Е	63	160	63	630	630	1200	10	1	0,05	0,12	0,08	26	2	—	2	5	130	142	195
КПД 131Е	63	160	63	630	630	600	6,3	1	0,04	0,12	0,08	26	1	1	2	5	130	142	195
КПДЗ 111Е	63	63	63	120	120	600	6,3	—	0,04	0,12	0,08	26	—	1	2	4	115	142	195
КПД 113Е	160	400	160	1600	1600	1200	10	1	0,04	0,2	0,15	34	1	—	2	6,6	109	185	358
КПДЗ 113Е	160	160	160	320	320	600	6,3	—	0,03	0,2	0,15	34	—	1	2	6,6	109	173	358
КПД 114Е	250	620	250	2500	2500	1200	10	1	0,04	0,3	0,2	37	1	—	2	9	123	213	385
КПДЗ 114Е	250	250	250	500	500	600	6,3	—	0,03	0,3	0,2	37	—	1	2	9	123	213	385

Таблица 3-15

Основные технические данные контакторов переменного тока серий КТП, КТПВ и пускателей П 6, ПМЕ, ПАЕ

Тип контактора	Ток, А					Число включений в час	Износостойкость, 10^6 циклов В—О			Собственное время срабатывания, с		Мощность катушки, Вт	Максимальное число вспомогательных контактов	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
	номинальный	Режим нормальных коммутаций		Режим редких коммутаций			механическая	электрическая									
		включения	отключения	включения	отключения			для категории АС-3	для категории АС-4	втягивания	отпадания				длина	ширина	высота
КТПВ 621	63	380	63	630	500	1200	20	1	0,1	0,15	0,05	30	4	7,5	190	240	260
КТПВ 622	100	600	100	1000	800	1200	20	1	0,1	0,14	0,09	40	4	9,5	195	240	275
КТПВ 623	160	960	160	1600	1280	1200	20	1	0,1	0,22	0,1	50	4	14,0	195	280	320
КТПВ 624	250	1500	250	2500	2000	1200	20	1	0,1	0,38	0,25	70	4	29	240	345	420
КТП 121Е	63	380	63	630	500	1200	10	1	0,08	0,12	0,08	26	2	5	130	142	195
П 6-100	10	60	10	100	80	1200	10	1	0,05	0,01—0,025	0,01—0,025	4—6	1	0,56	64	85	74
ПМЕ 200	25	150	25	250	200	600	5	0,5	0,03	0,01	0,01	6—8	4	1,3	90	118	102
ПАЕ 300	40	280	40	400	320	600	5	0,5	0,03	0,05	0,03	25—35	4	2,2	120	120	125

на котором закреплены контактная система с неподвижным контактом *2* и узлом дугогашения *1*, а также сердечник электромагнита с катушкой *6* и узел вспомогательных контактов. Подвижной контакт расположен на якоре магнитопровода *5*. Главные контакты выполняются с металлокерамическими вставками. Якорь поворачивается на призматических опорах основной скобы под действием электромагнита *6*. Контакт связан с якорем через контактодержатель *3* и может перемещаться, поворачиваясь относительно точки опоры.

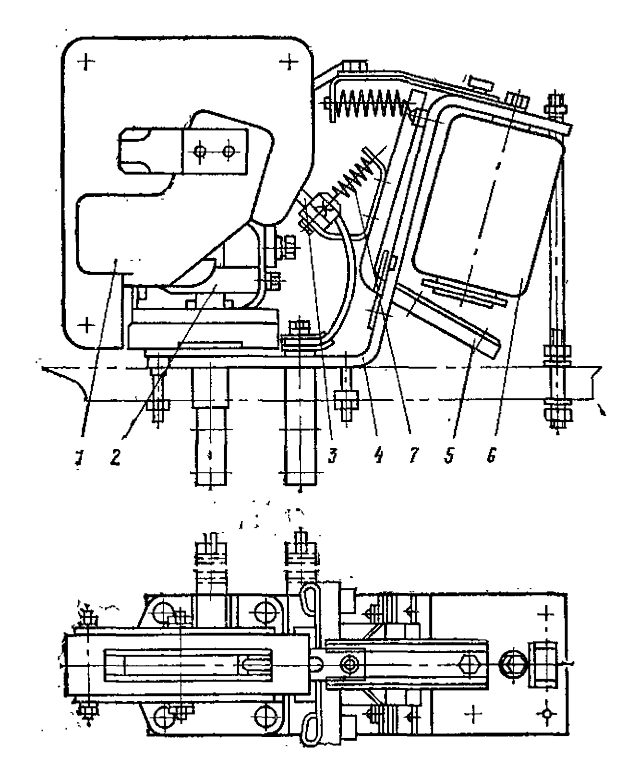


Рис. 3-12. Общий вид контактора постоянного тока типа КПВ 603.

Фиксация подвижного контакта в начальном положении осуществляется с помощью контактной пружины *7*.

При повороте якоря под действием электромагнита подвижный контакт приходит в соприкосновение с неподвижным, пружина контакта сжимается. После касания контактов вплоть до полного включения нажатие на контакты определяется усилием, развиваемым контактной пружиной. При отключении электромагнита якорь под действием собственной массы и усилия отключающей пружины возвращается в исходное положение. В контакторах с замыкающими главными контактами якорь при отключении втягивающей катушки возвращается в исходное положение под действием пружины. Возникающая при расхождении контактов электрическая дуга под действием электромагнитных сил дугогасительного устройства (дугогасительная катушка включена последовательно с главными контактами) гасится в пределах дугогасительной камеры.

Контакторы серии КПВ и КТПВ выполняются: с передним и задним присоединением проводов главной цепи и с передним присоединением проводов цепи управления. Контакторы изготавливаются как с изоляционной плитой, к которой они крепятся, так и без нее, если они предназначены для монтажа на панелях. Втягивающие катушки контакторов выполняются на номинальное напряжение 110 и 220 В постоянного тока. В контакторах КПВ 605 и КТПВ 624 параллельно втягивающей катушке включается разрядный резистор, потребляющий мощность около 10 Вт. Наличие резистора резко снижает перенапряжения, возникающие в катушке при ее отключении.

Контакторы с замыкающими главными контактами могут быть выполнены с двумя замыкающими вспомогательными контактами.

Контакторы КВП 620 выполняются с одним замыкающим и двумя размыкающими вспомогательными контактами. Все контакторы допускают переборку вспомогательных контактов, при этом число размыкающих контактов должно быть не более двух.

Контакторы одной величины с замыкающими главными контактами могут быть попарно механически сблокированы, что исключает возможность их одновременного включения. Контакторы КПВ 600 предназначаются в основном для категорий применения ДС-3 и ДС-5, контакторы КТПВ 600 — для категорий применения АС-3 и АС-4. Данные по электрической износостойкости, приведенные в табл. 3-14 и 3-15, даны для

режимов нормальных коммутаций при номинальных рабочих токах, равных номинальным токам контакторов, и при напряжении главной цепи до 220 В (КПВ) и до 380 В (КТПВ). Контакторы КПВ 620 допускают работу в режиме редких коммутаций — при 110% номинального напряжения. При этом контакторы выдерживают количество циклов В—О не менее 50 за время пребывания контактов во включенном состоянии в пределах от 0,1 до 1 с и интервалами между включениями не менее 10 с.

Электрическая износостойкость контакторов КПВ 600 с замыкающими главными контактами при напряжении 440 В составляет $1{,}2\cdot10^5$ циклов В—О (категории применения ДС-2, ДС-4) и не более $1\cdot10^4$ циклов (категории применения ДС-3, ДС-5).

Номинальный ток вспомогательных контактов 10 А. Коммутационная способность вспомогательных контактов при индуктивной нагрузке с коэффициентом мощности не менее 0,4 (переменный ток) и постоянной времени не более 0,05 с (постоянный ток) приведена в табл. 3-16. Электрическая износостойкость вспомогательных контактов при токах, указанных в табл. 3-16, равна $3\cdot10^5$ циклов В—О. При коммутации токов, вдвое меньших номинальных, электрическая износостойкость составляет не менее $1\cdot10^6$ циклов В—О.

Таблица 3-16

Коммутационная способность вспомогательных контактов контакторов

Род тока	Номинальный ток продолжительного режима, А	Напряжение, В	Включаемый ток, А	Отключаемый ток, А
Постоянный	10	110	25	2,5
		220	25	1,0
Переменный	10	380	100	10
Постоянный	6	110	10	0,4
		220	10	0,2
Переменный	6	380	30	3

в) Контакторы серий КПД 100Е, КТП 100Е

Контакторы серии КПД 100Е предназначены для коммутирования главных цепей и цепей управления электроприводов постоянного тока напряжением до 220 В. Контакторы КТП 100Е предназначены для коммутирования цепей переменного тока напряжением до 380 В. Серия контакторов КПД 100Е охватывает четыре величины по номинальному току: нулевая — 25 А; I — 63 А; III — 160 А; IV — 250 А.

Контакторы серии КТП 100Е имеют одно исполнение с номинальным током 63 А.

Основные технические данные контакторов серии КПД 100Е приведены в табл. 3-14, контакторов КТП 100Е в табл. 3-15.

На рис. 3-13 показан общий вид контактора КПД 121Е.

Контакторы КПД 100Е и КТП 100Е выполняются в виде моноблочной конструкции. Третья и четвертая величины контакторов КПД изготавливаются, как правило, на изоляционном основании. Рабочее положение контакторов — на вертикальной плоскости, камерами вверх. Внешнее присоединение проводов к контакторам — переднее. Контакторы имеют магнитную систему клапанного типа, главные контакты пальцевого типа с металлокерамическими накладками, вспомогательные контакты мостикового типа. Поворот якоря осуществляется на призме.

Контакторы снабжены дугогасительной системой с электромагнитным гашением и камерой, имеющей

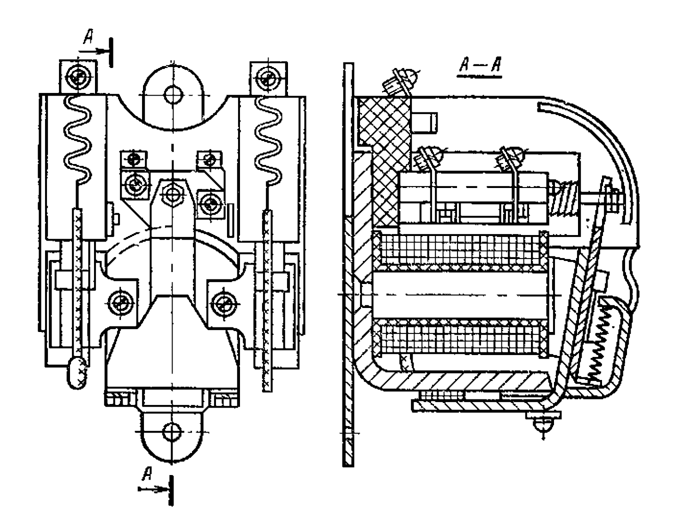


Рис. 3-13. Общий вид контактора типа КПД 121Е.

зигзагообразную щель. Контакторы серии КПД 100Е помимо дугогасительных катушек, рассчитанных на номинальные токи контакторов, могут иметь исполнения катушек на токи 2,5; 5 и 10 А (КПД 110); 5, 10, 25 А (контакторы I величины), 100 А (контакторы III величины).

Контакты с дугогасительными катушками на токи 2,5; 5; 10 и 25 А используются, как правило, для коммутации индуктивных цепей (обмотки возбуждения машин постоянного тока, катушки тормозных магнитов и т. д.). Особенностью работы контактов в таких цепях является наличие зоны критических токов, которая лежит в пределах примерно от 1 до 2 А для контактов с катушкой на 10 А и от 1 до 5 А для контактов с катушкой на 25 А при напряжении 220 В. При напряжениях до 110 В зона критических токов уменьшается.

Критические токи практически отсутствуют в контактах с дугогасительными катушками на 2,5 и 5,0 А. Для исключения зоны критических токов при использовании контактов на 10 и 25 А необходимо обеспечивать двухполюсный разрыв коммутируемой цепи, что достигается последовательным включением двух контактов.

Втягивающие катушки контакторов серий КПД и КТП выполняются на напряжение 110 и 220 В постоянного тока. Максимальное количество вспомогательных контактов — два в любом сочетании, кроме контакторов КПД 110Е, которые исполняются только с одним замыкающим и одним размыкающим контактами или без них. Контакторы одной величины (кроме нулевой) с замыкающими контактами могут быть попарно механически сблокированы.

Контакторы серии КПД нулевой величины предназначаются для категорий применения ДС-2 и ДС-4, контакторы остальных величин этой серии — для категорий ДС-3, ДС-5. Контакторы серии КТП 100Е предназначены для категорий применения АС-3 и АС-4.

Механическая и электрическая износостойкость главных контактов приведена в табл. 3-14 и 3-15.

Электрическая износостойкость главных контактов контакторов КПД 100Е, используемых в индуктивных цепях обмоток возбуждения, тормозных магнитов и других аналогичных нагрузок в режиме коммутации номинальных токов (определяется по номинальному току дугогасительной катушки) при напряжении до 220 В, составляет $3\cdot10^5$ циклов В—О. Контакторы с размыкающим главным контактом рассчитываются на режим редких коммутаций двукратного номинально-

го тока при 110% номинального напряжения. При этом контакторы выдерживают количество циклов В—О не менее 50 за время пребывания во включенном положении в пределах от 0,1 до 1 с и интервалами между включениями не менее 30 с.

Коммутационная способность и электрическая износостойкость вспомогательных контактов такие же, как и у контакторов серии КПВ 600.

г) Контакторы серий КТ 6000, КТП 6000, КТ 64 и КТП 64

Контакторы серий КТ и КТП предназначены для коммутации главных цепей электроприводов переменного тока с номинальным напряжением 380 В и частотой 50 и 60 Гц.

Контакторы серии КТ выполняются с втягивающими катушками переменного тока на номинальные напряжения: 36, 110, 127, 220 и 380 В. Контакторы серии КТП выполняются с втягивающими катушками постоянного тока на номинальные напряжения: 24, 48, 110 и 220 В. Рабочее положение контакторов соответствует креплению их на вертикальной плоскости. Внешнее присоединение проводов главной цепи — переднее и заднее.

Серии контакторов КТ и КТП, применяемые в крановых электроприводах, охватывают четыре величины на номинальные токи 100, 160, 250 и 400 А. По числу замыкающих главных контактов контакторы выполняются с двумя, тремя и четырьмя контактами. Контакторы КТ 64 и КТП 64 с четырьмя контактами не применяются.

Основные технические данные контакторов серий КТ и КТП приведены в табл. 3-17.

На рис. 3-14 показан общий вид контактора КТ 6013 с тремя главными замыкающими контактами. Все исполнения контакторов разработаны на одних и тех же конструктивных принципах.

Контакторы имеют шихтованный магнитопровод *7* переменного тока поворотного типа. Магнитопровод связан с главным валом *6* контактора, закрепленным на двух опорах *2*. На валу размещаются контактные рычаги *4* и подвижные контакты. В контакторах на номинальные токи 100, 160 и 250 А валы выполнены из пластмассы, на токи 400 и 630 А — из металла. Узлы неподвижных контактов *5*, включающие контактную систему, выводные зажимы и дугогасительную систему, монтируются на металлической рейке *1*, которая в свою очередь является основанием контактора. У двухполюсных и трехполюсных контакторов электромагнит располагается сбоку, а у четырехполюсных контакторов посередине, между двумя полюсами. Узел вспомогательных контактов *3* располагается на стороне, противоположной приводному устройству. Контакторы имеют

Таблица 3-17

Основные технические данные контакторов переменного тока КТ и КТП

Тип контроллера	Ток, А					Число включений в час	Износостойкость, 10^6 циклов В—О			Собственное время срабатывания, с		Число главных контактов	Максимальное число вспомогательных контактов	Мощность катушки, Вт	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
	номинальный	режим нормальных коммутаций		режим редких коммутаций			механическая	электрическая										
		включения	отключения	включения	отключения			для категории ДС-3	для категории ДС-4	втягивания	отпадания					длина	ширина	высота
КТ 6012 (КТ 6013) КТП 6012 (КТП 6013)	100	600	100	1000	800	1200	10 15	1	0,07	0,04	0,02	2 (3)	4	50	6,1 (7,2) 9,7 (10,9)	380 380	177 223	209 209
КТ 6014 КТП 6014	80	480	80	800	640	600	5	0,5	0,03	0,04	0,02	4 4	4	50	8,2 12,7	480 480	177 223	209 209
КТ 6022 (КТ 6023) КТП 6022 (КТП 6023)	160	960	160	1600	1280	1200	10 15	1	0,06	0,04	0,02	2 (3)	4	50	6,1 (7,2) 9,7 (10,9)	380 380	177 223	216 216
КТ 6024 КТП 6024	120	720	120	1600	960	600	5	0,5	0,03	0,04	0,02	4	4	50	8,8 12,7	480 480	177 223	216 216
КТ 6032 (КТ 6033) КТП 6032 (КТП 6033)	250	1500	250	2500	2000	1200	10	1	0,06	0,037	0,025	2 (3)	4	116	14,5 (18) 20 (23,5)	480 480	198 276	245 240
КТ 6034 КТП 6034	160	960	160	1600	1280	600	5	0,5	0,03	0,037	0,025	4	4	180	22,5 28	580 580	198 276	245 240
КТ 6042 (КТ 6043) КТП 6042 (КТП 6043)	400	2400	400	4000	3200	600 1200	5 10	0,5 1	0,03	0,06	0,023	2 (3)	4	320	34 (41) 32,5 (39,5)	480 (580) 480 (580)	280 375	293 293
КТ 6044 КТП 6044	280	1680	280	2800	2240	150 600	1,2	1,2	0,03	0,06	0,023	4	4	320	45 46,5	780 780	280 375	293 293
КТ 64-3120 (КТ 64-3130) КТП 64-3120 (КТП 64-3130)	100	600	100	1000	800	1200 2000	10 16	5 5	1 1	0,04	0,02	2 (3) 2 (3)	4 4	—	13,2 (17,9)	380	326	270
КТ 64-3320 (КТ 64-3330) КТП 64-3320 (КТП 64-3330)	160	960	160	1600	1280	1200 2000	10 16	5 5	1 1	0,04	0,02	2 (3) 2 (3)	4 4	—	13,2 (17,9)	380	326	270
КТ 64-3520 (КТ 64-3530) КТП 64-3520 (КТП 64-3530)	250	1500	250	2500	2000	1200 2000	10 10	5 5	1 1	0,037	0,025	2 (3) 2 (3)	4 4	—	26,5 (36) 32 (41,5)	480	395	295
КТ 64-3720 (КТП 64-3730) КТП 64-3720 (КТП 64-3730)	400	2400	400	4000	3200	600 1200	5 10	5 5	1 1	0,06	0,023	2 (3) 2 (3)	4 4	—	55 (72) 65 (80)	480 (580)	445	330

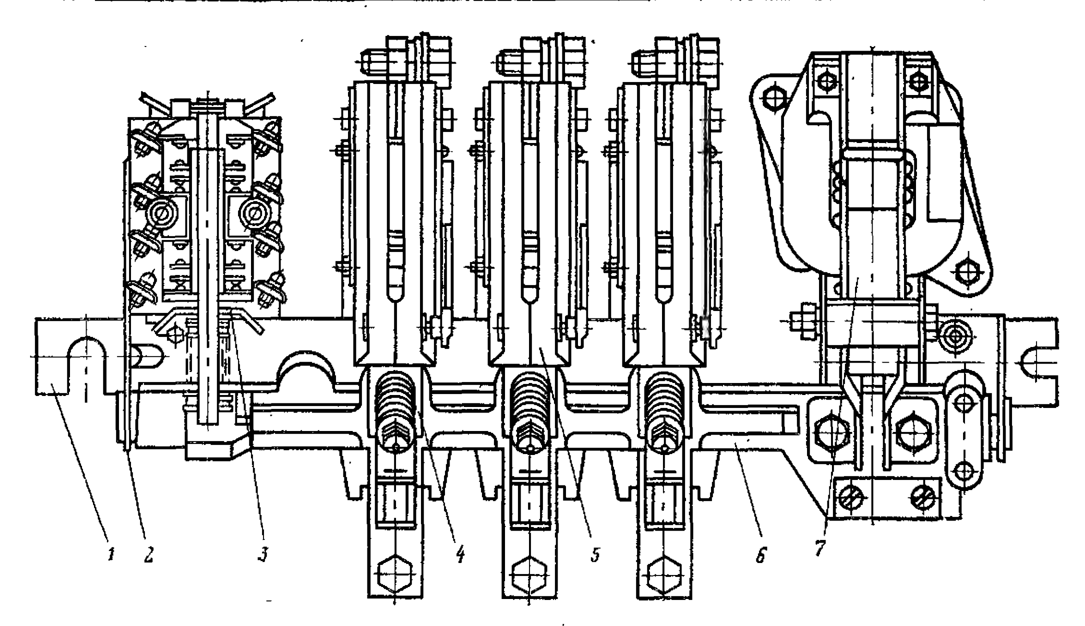


Рис. 3-14. Общий вид контактора типа КТ 6013.

мощную дугогасительную систему с электромагнитным гашением. Главные контакты контакторов пальцевого типа.

По исполнению вспомогательных контактов контакторы могут изготовляться с двумя замыкающими и двумя размыкающими контактами, допускающими в условиях эксплуатации перестановку их с замыкающих на размыкающие и наоборот, а также получение любого числа замыкающих вспомогательных контактов в пределах общего количества и до 50% размыкающих контактов. Контакторы одной величины, установленные друг над другом, могут быть попарно механически сблокированы между собой. Контакторы серии КТП отличаются от КТ только электромагнитной системой, которая у КТП выполняется на постоянном токе.

Контакторы серий КТ 64 и КТП 64 являются модификацией контакторов соответственно КТ 6000 и КТП 6000 и отличаются наличием дополнительных полупроводниковых блоков, обеспечивающих высокую коммутационную износостойкость и сводящих к минимуму затраты на эксплуатацию.

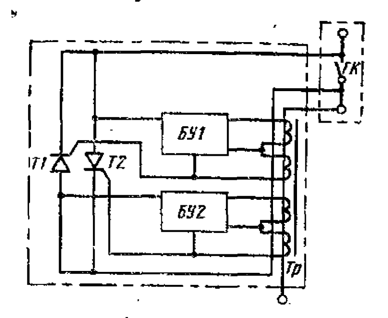


Рис. 3-15. Схема бестоковой коммутации в одной фазе контактора.

Принцип работы контакторов серий КТ 64 и КТП 64 виден из рис. 3-15. Параллельно главному контакту контактора подключается полупроводниковый блок, имеющий два тиристора *Т1* и *Т2*, включенных встречно-параллельно. Управление тиристоров осуществляется при помощи трансформаторов тока и блоков управления *БУ1* и *БУ2*. При размыкании контактов контактора или при их отбросе во время замыкания трансформатор *Тр* дает импульс на открывание тиристоров *Т1* и *Т2*, которые шунтируют воздушный контактный промежуток и обеспечивают размыкание контактов без протекания тока. После размыкания контактов и прохождения тока через нуль тиристоры отключаются, так как в это время трансформатор *Тр* не подает отпирающего импульса. В промежутках между коммутациями при любом токе нагрузки в пределах допустимых токов тиристоры зашунтированы контактами контактора. По категории основного применения контакторы КТ и КТП предназначены для категорий АС-3 и АС-4.

Данные по электрической износостойкости, приведенные в табл. 3-17, даны для режимов нормальных коммутаций. Номинальный ток вспомогательных контактов составляет 10 А. Коммутационная способность и электрическая износостойкость вспомогательных контактов такие же, как и у контакторов КПВ 600 и КПД 100Е.

д) Пускатели ПМЕ, ПАЕ, П6

Пускатели серий ПМЕ, ПАЕ, П 6 предназначены для коммутирования главных цепей и цепей управления электроприводов переменного тока (для кран-балок, талей и других грузоподъемных машин) напряжением до 500 В и частотой 50 и 60 Гц в сетях с относительно небольшими токами короткого замыкания. Магнитные пускатели могут быть использованы также для коммутации катушек тормозных магнитов и обмоток двигателей гидротолкателей тормозов. Пускатели на номинальные токи до 25 А целесообразно также применять и в качестве промежуточных контакторов в сложных схемах электроприводов. В последнем случае в наилучшей степени реализуются возможности пускателей с точки зрения их механической и электрической износостойкости.

В крановых электроприводах наибольшее применение получили исполнения пускателей П 6-100 на 10 А, ПМЕ 200 на 25 А и ПАЕ 300 на 40 А. Номинальные

токи пускателей указаны при напряжении 380 В. При напряжении 500 В номинальные токи снижаются до значений: 6 А (П 6-100), 14 А (ПМЕ 200) и 26 А (ПАЕ 300).

Основные технические данные пускателей указанных исполнений приведены в табл. 3-15. Пускатели на номинальные токи 10 и 25 А имеют прямоходовую Ш-образную магнитную систему и мостиковые главные контакты без специального устройства дугогашения. Магнитные пускатели на 40 А имеют поворотную магнитную систему, мостиковые контакты и дугогашение — с применением деионных решеток.

Установка пускателей предусматривается на вертикальной плоскости с передним присоединением проводников.

Пускатели всех типов выполняются с тремя главными замыкающими контактами.

Исполнение вспомогательных контактов: один замыкающий (П 6-100), два замыкающих и два размыкающих (ПМЕ, ПАЕ).

Вспомогательные контакты пускателей рассчитаны на номинальное напряжение сети переменного тока 500 В частотой 50 Гц и сети постоянного тока до 220 В.

Номинальный ток вспомогательных контактов продолжительного режима 6 А (ПМЕ и ПАЕ) и 10 А (П 6-100). Коммутационная способность вспомогательных контактов приведена в табл. 3-16.

Втягивающие катушки пускателей выполняются на номинальные напряжения 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380, 500 В переменного тока. Механическая износостойкость пускателей составляет $5 \cdot 10^6$ циклов В—О (ПМЕ и ПАЕ) и $10 \cdot 10^6$ циклов (П 6-100). Пускатели всех типов рассчитаны для работы в категории применения АС-3. Допускается также работа в категории применения АС-4.

В табл. 3-15 приведены данные по электрической износостойкости для нормальных режимов коммутации.

При работе в категории применения АС-3 в режиме редких коммутаций пускатели выдерживают без смены главных контактов не менее 50 коммутационных циклов В—О при интервалах между циклами 10 с.

Электрическая износостойкость пускателей категории применения АС-4 при коммутации вдвое меньших токов, чем указано в табл. 3-15, в режимах нормальных коммутаций составляет $0{,}2 \cdot 10^6$ (ПАЕ, ПМЕ) и $0{,}3 \cdot 10^6$ (П 6-100).

Электрическая износостойкость вспомогательных контактов при коммутации токов (см. табл. 3-16) составляет не менее $1 \cdot 10^6$ циклов, при коммутации вдвое больших токов, чем указано в табл. 3-16, составляет $0{,}2 \cdot 10^6$ циклов.

е) Рекомендации по выбору контакторов

Выбор контакторов для использования в качестве оперативных коммутационных элементов в сложных комплектных устройствах управления осуществляется по условиям обеспечения необходимой коммутационной способности, теплового режима и уровня электрической износостойкости.

Для крановых электроприводов легкого режима работы, а также для электроприводов, работающих эпизодически в кратковременном режиме длительностью не более 15 мин, выбор контакторов производится исключительно по пусковому току электродвигателя, который должен быть не более номинального тока включения выбираемого контактора.

В электроприводах продолжительного режима с редкими включениями (контакторы защитных панелей и т. п.) выбор контактора производится по номинальному току продолжительного режима и проверяется по номинальному току включения, который должен быть не выше наибольшего значения пускового тока двигателя.

Наибольшую сложность представляет выбор контакторов для электроприводов грузоподъемных машин с большой частотой включений и условиями коммутации, постоянно изменяющимися даже в процессе одной грузовой операции. Для этих электроприводов выбор контакторов осуществляется по номинальному току включения и проверяется на обеспечение необходимого уровня электрической износостойкости.

Условия коммутации главных цепей крановых электроприводов весьма разнообразны и, как правило, не соответствуют нормированным стандартами режимам коммутаций АС-3, АС-4, ДС-2, ДС-3, ДС-4 и ДС-5. В повторяющихся циклах грузовых операций можно различить коммутации, связанные с включением неподвижных двигателей, отключением вращающихся двигателей, отключением двигателей в процессе пусков (при пусковом токе) и, наконец, включением и отключением электродвигателя для выполнения операций с малыми скоростями.

Если число включений неподвижного двигателя и отключение вращающегося двигателя в основном соответствует числу операций в пределах одного цикла по переработке грузов, то число включений для регулирования скорости может меняться в очень широких пределах, поскольку оно зависит от регулировочных свойств электропривода. При широком диапазоне регулирования дополнительных включений может вообще не быть, а при низких регулировочных свойствах системы оператор вынужден методом толчковых включений обеспечивать необходимые малые скорости перемещения груза.

Таким образом, в общем числе коммутаций главных цепей определенные доли приходятся на коммутации при вполне определенных условиях, которые можно заранее предвидеть. К ним относятся:

1) включение электродвигателя при пусковом токе $I_п$;

2) отключение вращающегося электродвигателя при расчетном токе нагрузки $I_р$;

3) отключение электродвигателя в процессе пуска при токе $0{,}8\,I_п$;

4) включение и отключение неподвижного электродвигателя при токе, близком к расчетному току нагрузки $I_р$, для обеспечения толчкового регулирования.

Так как каждая из этих коммутационных операций характеризуется своими параметрами износостойкости коммутационного аппарата, то для установления фактического уровня износостойкости аппарата в системе электропривода необходимо учесть их влияние в комплексе с применяемыми в крановом электроприводе системами управления.

С учетом сказанного усредненное значение номинального тока наиболее распространенной в крановых электроприводах группы контакторов с механической износостойкостью, равной 10 млн. циклов В—О, в зависимости от заданной электрической износостойкости может быть определена по формуле

$$I_н \geqslant I_р N_н \left(\frac{N_р}{N_н}\right)^{2/3} \left(\frac{A_1}{k_1} + \frac{A_1}{k_2} + \frac{(1 - A_1)}{k_3} + \frac{A_2}{k_4} + \frac{1 - A_1 - A_2}{k_5}\right),$$

где $I_р$ — расчетный наибольший ток переключения при ступенчатом разгоне; $N_р$ — значение электрической износостойкости; $N_н$ — нормированная электрическая из-

Таблица 3-18

Параметры для определения электрической износостойкости

Параметры	Параметрическое релейно-контакторное регулирование, торможение противовключением	Параметрическое релейно-контакторное регулирование, динамическое торможение	Короткозамкнутые односкоростные и двухскоростные асинхронные электродвигатели	Аппаратура в системах с тиристорными преобразователями	Импульсное регулирование в роторных цепях асинхронных электродвигателей	Системы Г—Д
Наибольший диапазон регулирования	3:1	8:1	6:1	20:1	10:1	20:1
A_1	0,65	0,35	0	0	0	0
A_2	0,30	0,6	0,95	1	0,95	1

носостойкость для режимов, близких к расчетным; A_1 — доля числа включений с током включения $I_р$ в общем числе циклов В—О; A_2 — доля числа отключений с током отключения $I_р$ в общем числе циклов В—О при напряжении $0,1\,U_н$; k_1 — износостойкость при включении тока $I_р$; k_2 — износостойкость при отключении тока $I_р$ и напряжении $U_н$; k_3 — износостойкость при включении пускового тока; k_4 — износостойкость при отключении тока $I_р$ и напряжении $0,1\,U_н$; k_5 — износостойкость при отключении 80% пускового тока и напряжении $0,5\,U_н$.

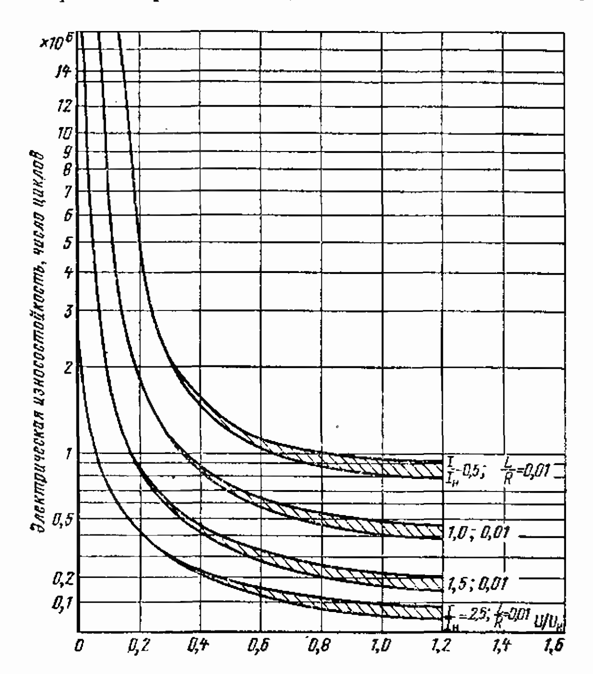


Рис. 3-16. Кривые изменения электрической износостойкости контакторов постоянного тока.

Коэффициенты k_1—k_5 для систем постоянного тока определяются по кривым на рис. 3-16, а для систем переменного тока — по кривым на рис. 3-17 для соответствующих значений токов в долях номинального.

Значения A_1 и A_2 в зависимости от типа системы управления могут быть приняты согласно табл. 3-18. Нормированную электрическую износостойкость следует брать для условий, близких к расчетным.

По приведенной выше формуле могут быть определены значения номинальных токов контакторов при различных условиях их использования. Наиболее характерным режимом работы контакторов в схемах крановых электроприводов является такой, при котором пусковой ток составляет $3\,I_р$. Для этого режима номинальный ток контакторов будет равен:

$$I_н \geqslant 1,14 N^{2/3}\, I_р,$$

где N — выраженная в относительных единицах электрическая износостойкость.

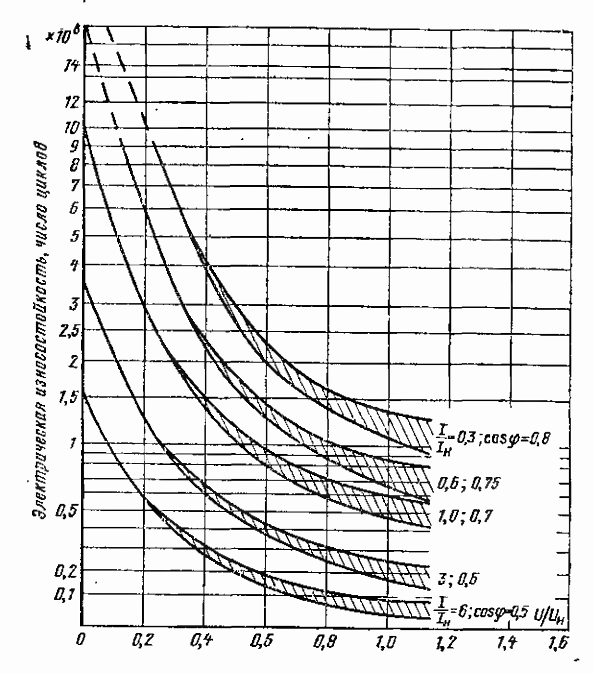


Рис. 3-17. Кривые изменения электрической износостойкости контакторов переменного тока.

Принимая соответственно электрическую износостойкость контакторов для режимов С, Т, ВТ равной 0,5; 1,0; 2,0 млн. циклов, получаем, что номинальный ток контакторов должен быть не ниже 0,72; 1,14 и 1,8 расчетного тока электродвигателя.

3-6. РЕЛЕ

а) Классификация и назначение

Реле предназначаются для применения в электроприводах постоянного и переменного тока для выполнения функций управления, контроля и защиты.

По назначению реле делятся на следующие виды: времени, напряжения, промежуточные, тока, тепловые. Все виды реле (кроме тепловых), применяемые в крановых электроприводах, электромагнитного типа.

Реле времени выполняются с электромагнитной системой постоянного тока и используются в цепях управления электроприводов для реализации заданных интервалов времени между подачей импульса на размыкание катушки и переключением контактов реле.

Реле напряжения изготовляются с электромагнитной системой постоянного тока и применяются в основном в узлах защиты от перерыва питания или недопустимого снижения напряжения. Реле срабатывает и отпадает в определенных интервалах изменения подведенного напряжения. Разновидностью реле напряжения являются нулевые реле, у которых задается только напряжение срабатывания, а отключение гарантируется при полном исчезновении напряжения. Реле напряжения используется также и в качестве реле контроля параметров, например скорости (реле ограничения скорости) в электроприводах постоянного тока, когда катушка реле включается на зажимы якоря двигателя. В отдельных случаях требуется, чтобы реле не только срабатывало, но и отпадало при определенных значениях напряжения, т. е. имело определенный коэффициент возврата (отношение напряжения отпадания к напряжению срабатывания).

Выпускаемые промышленностью реле напряжения, как правило, имеют низкий коэффициент возврата в пределах 0,2—0,3. Для его увеличения может быть применена схема форсировки, когда включение реле осуществляется при непосредственном питании катушки от сети, а затем последовательно с катушкой с помощью собственных размыкающих контактов вводится добавочный резистор, снижающий напряжение на катушке реле. При такой схеме значение коэффициента возврата может быть поднято до 0,75.

Реле промежуточные, являющиеся разновидностью реле напряжения, предназначаются: для передачи команд от низковольтных органов управления к аппаратам основной цепи управления; для формирования различных команд управления; для усиления и размножения сигналов команд; для установки в выходных цепях блоков полупроводниковых преобразовательных устройств. Промежуточные реле рассчитываются на работу в интервале напряжений 75—105% номинального напряжения катушки.

Реле тока делятся на две группы: реле контроля тока и реле максимального тока.

Реле максимального тока предназначены для защиты электроприводов. Данные по исполнениям максимальных реле, используемых в защитных панелях, даны в § 6-1.

Реле контроля тока используются, как правило, для контроля различных цепей с точки зрения их исправности и функционирования. Примерами таких узлов являются главные цепи двигателей постоянного тока и их цепи возбуждения, цепи питания обмоток тормозов и т. д. Реле, контролирующие цепи возбуждения, называются также реле обрыва поля. Реле контроля тока выполняются с последовательными катушками, которые включаются в контролируемые цепи. Контакты этих реле включаются или в цепь нулевой защиты, или в цепи аппаратов, обеспечивающих отключение привода. Реле срабатывают (включаются) при прохождении заданного расчетного тока и отпадают при прекращении тока.

Тепловые реле рассмотрены в § 6-1.

Общие технические требования ко всем видам реле сформулированы в ГОСТ 8250-71.

Изготовляемые промышленностью реле выполняются для условий работы умеренного (У), тропического (Т) и холодного (ХЛ) климата. Степень защиты реле IP00.

б) Реле серий РЭВ 800 и РЭВ 80

Реле серий РЭВ 800 и РЭВ 80, выполняемые с электромагнитной системой постоянного тока, применяются в качестве реле времени, тока, напряжения и промежуточных. Контакты этих реле могут быть включены в цепи управления электроприводов постоянного и переменного тока. Номинальное напряжение цепи контактов 110—380 В. Основные технические данные реле РЭВ 800 и РЭВ 80 приведены в табл. 3-19.

Реле имеют блочную конструкцию. При этом сборка и регулировка их производятся до установки на комплектное устройство. Рабочее положение — верти-

Таблица 3-19

Основные технические данные реле серий РЭВ 80, РЭВ 800, РЭВ 570 и РЭ 570

Тип реле	Реле	Число контактов		Пределы регулирования выдержки времени, с при		Напряжение (ток) втягивания, % номинального напряжения (тока)	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
		замыкающих	размыкающих	отключении катушки	закорачивании катушки			ширина	глубина	высота
РЭВ 811	Времени	1	1	0,25—1,0	0,4—1,5	60	3,5	110	180	190
РЭВ 812	»	1	1	0,8—2,5	0,9—2,8	60	3,5	110	180	190
РЭВ 813	»	1	1	2,0—3,5	2,2—3,8	60	3,5	110	180	190
РЭВ 814	»	1	1	3,0—5,0	3,8—5,5	60	3,5	110	180	190
РЭВ 815	»	2	2	0,25—0,6	0,4—0,9	60	3,5	150	180	200
РЭВ 816	»	2	2	0,5—1,5	0,6—1,7	60	3,5	150	180	200
РЭВ 817	»	2	2	1,2—2,5	1,3—2,7	60	3,5	150	180	200
РЭВ 818	»	2	2	2,0—3,5	2,2—3,8	60	3,5	150	180	200
РЭВ 821	Напряжения	1	1	—	—	25÷80	3,5	110	180	190
РЭВ 822	Промежуточное	1	1	—	—	65	3,5	110	180	190
РЭВ 825	Напряжения	2	2	—	—	35—80	3,5	150	180	200
РЭВ 826	Промежуточное	2	2	—	—	65	3,5	150	180	200
РЭВ 830	Минимальное	1	1	—	—	30÷80	3,5	110*	180	190
РЭВ 81	Времени	—	1	0,15—1,0	0,25—1,3	60	1,5	65	140	130
РЭВ 84	Напряжения	1	—	—	—	30—60	1,5	65	140	130
РЭВ 86	Минимальное	1	—	—	—	30—80	1,5	65	140	130
РЭВ 570	Максимальное	1	1	—	—	70—300	2,5	110—190	100	170
		—	1	—	—	70—300	2,5	110—190	100	140
РЭ 570	Максимальное	—	1	—	—	70—200	2,5	110—190	130	125

* При номинальных токах 0,5—63 А, 130 мм—при номинальных токах 80—100 А.

кальное, контактами вниз (РЭВ 80) и вверх (РЭВ 800). Реле пригодны для монтажа как на изоляционных, так и на металлических плитах или рейках. Присоединение внешних проводов к контактам и катушкам — переднее.

Неподвижная часть магнитопровода реле выполнена из двух отдельных деталей — сердечника и угольника. Поворотный якорь клапанного типа. На якоре укреплена колодка с подвижными контактами. Узел неподвижных контактов крепится на магнитопроводе. В зависимости от установки, принятой при монтаже, реле РЭВ 800 могут иметь два или три перестраивающихся вспомогательных контакта.

Реле времени выполняются с выдержкой времени, получаемой или отключением втягивающей катушки или шунтированием ее при отключении от источника питания. Выдержка времени обеспечивается за счет наведения вихревых токов в алюминиевых или медных съемных демпферах, надеваемых на сердечник магнитопровода. Реле типов РЭВ 81, РЭВ 811 и РЭВ 815 изготавливаются без съемных демпферов (демпфером служит алюминиевое основание реле). Регулирование времени отпадания якоря производится двумя способами: грубо — толщиной прокладки из немагнитного материала между якорем и сердечником, более точно — натяжением пружины. Для увеличения выдержки времени следует применять более тонкую прокладку и ослаблять натяжение пружины.

Собственное время замыкания замыкающих контактов реле времени и время подготовки реле, измеренные при холодном состоянии реле и номинальном напряжении, составляют соответственно не более 0,3 и 0,9 с (РЭВ 800) и 0,1 с и 0,35 с (РЭВ 80).

Собственное время втягивания реле напряжения, тока и промежуточных равно не более 0,2 с (РЭВ 800) и 0,1 с (РЭВ 80). Собственное время отпадания составляет не более 0,25 с (РЭВ 800) и 0,15 с (РЭВ 80). Точность срабатывания всех реле ±10% при окружающей температуре 20±5° С.

Для реле времени точность срабатывания может быть получена при условии, что напряжение, приложенное к катушке, будет не менее 60% номинального. Напряжение (ток), при котором якорь реле отпадает, лежит в пределах 20—35% напряжения (тока) срабатывания.

Коэффициент возврата реле не нормируется. Для реле РЭВ 800 он равен ориентировочно 0,3.

Реле времени, напряжения и промежуточные выполняются с втягивающими катушками на номинальное напряжение 12, 24, 48, 110 и 220 В постоянного тока. В системах постоянного тока катушки реле получают питание от общих выводов цепи управления, а в системах переменного тока — через групповые или индивидуальные выпрямители. Мощность катушек 25 Вт (РЭВ 800), 20 Вт (РЭВ 81) и 16 Вт (РЭВ 84).

Реле контроля тока, которые используются в основном как реле минимального тока, изготавливаются с втягивающими катушками на номинальные токи: 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 63; 100 А (РЭВ 800) и 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4 А (РЭВ 86).

По условиям электродинамической и термической стойкостей втягивающие катушки тока обеспечивают протекание 10-кратного номинального тока катушки в течение 0,5 с. Номинальный ток контактов реле 10 А.

Коммутационная способность контактов при индуктивной нагрузке с коэффициентом мощности не менее 0,4 (при переменном токе) и постоянной времени не более 0,05 с (при постоянном токе) приведена в табл. 3-20. Для реле РЭВ 81, РЭВ 86 и РЭВ 800 коммутационная способность нормальная, а для реле РЭВ 84 повышенная.

Таблица 3-20

Коммутационная способность контактов реле в режиме редких коммутаций

Коммутационная способность контактов	Включаемый ток, А			Отключаемый ток, А		
	переменный 380 В	постоянный 110 В	постоянный 220 В	переменный 380 В	постоянный 110 В	постоянный 220 В
Повышенная	100	50	50	10	5	2
Нормальная	100	25	25	10	2,5	1
Пониженная	—	1	1	—	0,6	0,3

Механическая износостойкость всех исполнений составляет до $10 \cdot 10^6$ циклов В—О при максимально допустимом числе включений, равном 1200 в час.

Электрическая износостойкость контактов реле в режиме нормальных коммутаций (табл. 3-21) равна $1 \cdot 10^6$ циклов В—О, в режиме повышенных коммутаций $0,4 \cdot 10^6$ циклов. Электрическая износостойкость реле РЭВ 800 при коммутации цепей с током 0,25 А при напряжении 220 В постоянного тока и постоянной времени 0,1 с составляет $2,5 \cdot 10^6$ циклов В—О.

Таблица 3-21

Режимы коммутации контактов реле

Режим коммутации	Включаемый ток, А			Отключаемый ток, А		
	переменный 380 В	постоянный 110 В	постоянный 220 В	переменный 380 В	постоянный 110 В	постоянный 220 В
Повышенный	25	2,5	1	2,5	2,5	1
Нормальный	25	1,25	0,5	2,5	1,25	0,5
Пониженный	—	0,6	0,3	—	0,6	0,3

в) Реле серий РЭВ 570 и РЭ 570

Реле РЭВ 570 и РЭ 570 электромагнитного типа. Первые применяются в электроприводах постоянного тока в качестве реле максимального тока мгновенного действия, вторые — в электроприводах переменного тока в качестве реле максимального тока для защиты двигателей от перегрузки. Реле РЭВ 570 и РЭ 570 могут быть использованы также в сложных схемах электроприводов в качестве реле контроля тока. Конструктивно принципы построения реле РЭВ 570 и РЭ 570 близки реле РЭВ 800. Основные технические данные реле приведены в табл. 3-19. Втягивающие катушки реле исполняются на токи: 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 320; 400 и 630 А.

Динамическая и термическая устойчивость втягивающих катушек такая же, как и у катушек реле РЭВ 800.

Способ присоединения внешних проводов к катушкам на ток до 63 А — передний, свыше 63 А — передний и задний.

Рабочее положение в пространстве — на вертикальной плоскости контактами вниз.

Реле РЭВ 570 имеют следующие исполнения: с самовозвратом, с ручным возвратом (с защелкой) и с электромагнитным возвратом. Номинальное напряжение катушек электромагнитного возврата 110 и 220 В постоянного тока. Коэффициент возврата реле РЭ 570 — не менее 0,65, реле РЭВ 570 — не нормируется. Собственное время срабатывания реле РЭВ 570 и РЭ 570 не более 0,05 с. Точность срабатывания реле составляет ±10%.

Номинальный ток контактов реле 10 А. Номинальное напряжение цепи контактов 110—380 В.

Коммутационная способность контактов (см. табл. 3-21) у реле РЭВ 570 нормальная, у реле РЭ 570— пониженная.

Электрическая износостойкость реле РЭ 570— $1 \cdot 10^6$ циклов В—О (в режиме пониженных коммутаций), реле РЭВ 570—$1 \cdot 10^4$ циклов (в режиме нормальных коммутаций).

Механическая износостойкость реле составляет $1 \cdot 10^4$ циклов (РЭВ 570) и $4 \cdot 10^6$ циклов (РЭ 570) при максимальном числе включений в час соответственно 150 (РЭВ 570) и 600 (РЭ 570).

3-7. МАГНИТНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

а) Назначение, классификация, особенности конструкции

Магнитные контроллеры представляют собой сложные комплектные коммутационные устройства для управления крановыми электроприводами. В магнитных контроллерах коммутация главных цепей осуществляется с помощью контакторов с электромагнитным приводом. По схеме магнитные контроллеры представляют собой комплектные устройства, обеспечивающие определенную программу переключений в главных цепях при соответствующей подаче команд в цепи управления.

Команды управления подаются командоконтроллерами или кнопочными постами. Магнитные контроллеры предназначаются для пуска, регулирования скорости, торможения и отключения двигателей крановo-металлургических серий переменного (асинхронных с фазным и короткозамкнутым ротором) и постоянного тока.

По сравнению с силовыми кулачковыми контроллерами магнитные контроллеры имеют целый ряд преимуществ. К ним можно отнести следующие:

1) для управления магнитными контроллерами независимо от мощности двигателя применяются командоконтроллеры, требующие малой затраты энергии со стороны оператора;

2) кулачковые контроллеры, как правило, располагаются в кабине управления около оператора. При наличии в кабине нескольких таких контроллеров размеры кабины возрастают, рабочее место оператора становится неудобным, обзор рабочего пространства сокращается. При управлении магнитными контроллерами в кабине размещаются, как правило, только малогабаритные командоконтроллеры, которые в большинстве случаев встраиваются в кресло крановщика или устанавливаются на специальном пульте управления. Это позволяет уменьшить кабину крановщика и максимально увеличить обзор рабочего пространства;

3) срок службы магнитных контроллеров при одинаковых нагрузках в несколько раз выше, чем кулачковых контроллеров, в связи с тем, что коммутация в силовой цепи осуществляется с помощью электромагнитных контакторов;

4) при помощи магнитных контроллеров обеспечивается автоматизация пуска и торможения, что позволяет повысить производительность крановых механизмов даже без увеличения мощности приводного двигателя и упрощает работу оператора. При равных возможностях использования кулачковых и магнитных контроллеров применение магнитных контроллеров является целесообразным для механизмов, имеющих высокую производительность и соответственно повышенное число включений в час:

5) магнитные контроллеры обладают значительной коммутационной способностью. В предельном случае магнитный контроллер размыкает ток до 1000% номинального и в то же время может пропустить этот ток в течение 1 с, что определяет достаточную термическую стойкость на время срабатывания защиты.

Изготавливаемые промышленностью крановые магнитные контроллеры объединяются в две группы: магнитные контроллеры кранов общего назначения, магнитные контроллеры кранов металлургического производства.

Для повышения надежности и износостойкости в магнитных контроллерах переменного тока металлургического исполнения цепи управления, включая катушки контакторов, выполняются на постоянном токе. Для питания цепей управления постоянным током пользуются отдельным источником в виде статического или вращающегося преобразователя.

По конструктивным признакам магнитные контроллеры подразделяются на две группы:

1) с аппаратурой, монтируемой на стальных каркасах (каркасно-реечная конструкция);

2) с аппаратурой, монтируемой на изоляционных досках (панельная конструкция).

Размеры магнитных контроллеров, расстановка аппаратуры, размещение зажимов и другие конструктивные особенности определяются условиями компоновки контроллеров на кране и удобством их обслуживания. Установка магнитных контроллеров в кабине управления возможна только в отдельных случаях. Обычным местом для них являются фермы моста, что определяет их предельный размер по высоте, который не должен в этом случае превосходить 1,7 м. По ширине магнитные контроллеры могут состоять из нескольких полотен, устанавливаемых на одной раме. Имеется также конструкция магнитных контроллеров переменного тока, которые изготавливаются не на вертикальных, как обычно, а на горизонтальных рамах, приспособленных для встройки в ниши балок кранов (балочная конструкция).

Магнитные контроллеры изготавливаются в открытом исполнении со степенью защиты IP00.

Защита магнитных контроллеров на кранах должна производиться в соответствии с рекомендациями, данными в разд. 1.

Все современные конструкции магнитных контроллеров имеют обслуживание с одной (передней) стороны, что позволяет получить минимальную площадь зоны обслуживания.

Магнитные контроллеры каркасно-реечной конструкции имеют одну ступень изоляции между токоведущими частями и корпусом. Такие изделия используются для кранов общего назначения, работающих на открытом воздухе или в обычных производственных помещениях. Магнитные контроллеры панельной конструкции имеют две ступени изоляции и используются в основном для кранов металлургического производства и других производств с большой концентрацией токопроводящей пыли.

В магнитных контроллерах всех типов шины и часть монтажных проводов располагаются с задней стороны рамы или досок, но все болтовые соединения с аппаратами осуществляются со стороны обслуживания.

Внешние провода главных цепей в магнитных контроллерах каркасно-реечной конструкции присоединяются непосредственно к выводам соответствующих аппаратов, а в магнитных контроллерах панельной конструкции имеются специальные выводы главной цепи. Для обеспечения обслуживания панельных конструкций с одной стороны применяются поворотные рамы. Рама с аппаратами может поворачиваться на 90° вокруг вертикальной оси. После поворота рамы задняя сторона панелей становится доступной для осмотра и ремонта и сохраняется доступ к лицевой стороне.

При токах до 60 А все соединения главной цепи между аппаратами выполняются проводами, при токах свыше 60 А соединения выполняют шинами. Шины могут быть медными или алюминиевыми, однако алюминий, используемый для шин, должен быть жестким, а болтовые соединения должны достаточно часто подтягиваться.

Изоляционные панели могут выполняться из асбестоцементных плит, пропитанных в битумном составе, или стеклотекстолитовых плит. Внешние провода цепей управления присоединяются к наборным рейкам, имеющим маркировку и винтовые зажимы внешнего и внутреннего монтажа. Монтаж цепей управления осуществляется многожильным проводом, причем для магнитных контроллеров общего назначения может применяться провод с полихлорвиниловой изоляцией, а для магнитных контроллеров металлургического исполнения предпочтительно применение провода с нагревостойкой изоляцией (ПАЛ180, РКГМ и др.). Провода внутреннего монтажа крепят к каркасам, выполненным из стальных прутов, изолированных хлорвиниловыми трубками или лентами. Для укладки проводов внутреннего монтажа применяются также пластмассовые короба, укрепленные на рамах и досках магнитных контроллеров.

Магнитные контроллеры изготавливаются для работы как в условиях умеренного, так и тропического климата. При этом контроллеры тропического исполнения допускают нагрузку, примерно на 25% меньшую по сравнению с однотипными контроллерами нормального исполнения.

Механическая и электрическая износостойкость магнитных контроллеров определяется износостойкостью применяемых в них электромагнитных контакторов главной цепи.

Выбор магнитных контроллеров для крановых механизмов определяется режимом работы механизма и зависит от параметров износостойкости коммутационной аппаратуры (контакторов), методика определения которых приведена в § 3-5, е.

Магнитные контроллеры должны быть рассчитаны на коммутацию наибольших допустимых значений тока включения, а номинальный ток их $I_н$ должен быть равен или больше расчетного тока двигателя при заданных условиях эксплуатации и заданных режимах работы механизма, т. е.

$$I_н \geqslant I_р k,$$

Таблица 3-22

Значения коэффициента *k* для различных типов и исполнений магнитных контроллеров

Тип контроллера	Напряжение главной цепи, В	Значение коэффициента *k* в режимах						
		Л	С	Т		ВТ		ОТ
		до 60 включений в час	до 150 включений в час	до 300 включений в час	до 600 включений в час	до 600 включений в час	до 1200 включений в час	до 1200 включений в час
ТА, ТСА	380	0,75	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	—
ТА, ТСА	500	0,9	1,0	1,2	—	—	—	—
К, КС	380	—	0,7	1,0	1,1	1,3	1,6	2,0
ТСД	380	0,75	0,8	1,0	1,2	—	—	—
КСД	380	—	—	1,0	1,1	1,3	—	—
КСДБ	380	—	—	1,0	1,0	1,2	1,3	1,5
П, ПС	220	0,75	0,8	1,0	1,2	1,4	2,0	—
П. ПС	440	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	—	—
ТС, ТН, ТСН	380	0,8	1,0	—	—	—	—	—
КБК	380	0,8	0,9	1,0	—	—	—	—

где *k* — коэффициент, учитывающий режим работы механизма (число включений, продолжительность включения).

Номинальный и наибольший допустимые токи магнитных контроллеров приведены в табл. 3-23—3-25.

Значения коэффициента *k* для различных исполнений магнитных контроллеров даны в табл. 3-22.

б) Магнитные контроллеры переменного тока серий ТА, ТСА и К, КС

Магнитные контроллеры серий ТА, ТСА и К, КС предназначены для управления крановыми асинхронными двигателями с фазным ротором серий МТ, МТН и применяются: К и КС в крановых электроприводах металлургического производства, работающих в легком (Л), среднем (С), тяжелом (Т), весьма тяжелом (ВТ) и особо тяжелом (ОТ) режимах; ТА и ТСА — в электроприводах кранов общего назначения легкого (Л) и среднего (С) режимов работы.

Контроллеры серий ТСА и КС используются в электроприводах механизмов подъема, а также механизмов грейфера; контроллеры серий ТА и К — в основном в электроприводах механизмов горизонтального передвижения (поворот, передвижение моста крана и тележки).

Главная цепь контроллеров выполняется на напряжение 220 или 380 В переменного тока. Цепь управления — на постоянном токе напряжением 220 В (контроллеры К и КС) и на переменном токе напряжением, равным напряжению главной цепи (контроллеры ТА и ТСА).

Все контроллеры изготавливаются в открытом исполнении (IP00) для умеренного (нормальное исполнение) и тропического (тропическое исполнение) климата категории размещения 3. Рабочее положение контроллеров — вертикальное, обслуживание с передней стороны.

Основные технические данные магнитных контроллеров серий К, КС и ТА, ТСА нормального исполнения приведены в табл. 3-23.

Магнитные контроллеры К, КС, ТА, ТАЗ, ТСА, ТСАЗ предназначены для управления одним двигателем, контроллеры ДК, ДКС и ДТА — двумя двигателями одновременно. Двухдвигательные (дуплексные) магнитные контроллеры могут обеспечивать кратковременную работу привода на одном двигателе.

Магнитные контроллеры типов ДК 61 и ДТА 161 применяются только в комплекте с контроллерами соответственно ДК 62 и ДТА 160 или ДТА 162. При этом в четырехдвигательном приводе применяется по одному контроллеру ДК 61 и ДТА 161; в шестидвигательном — по два контроллера ДК 61 и ДТА 161.

Серии магнитных контроллеров ТА, ТСА и К, КС имеют несколько исполнений, отличающихся мощностью управляемых двигателей, которая в свою очередь определяется величиной встраиваемых в магнитные контроллеры контакторов.

Магнитные контроллеры выполняются на номинальные токи контакторов: 63, 160, 250 А (К); 160 А (ТА); 160, 250, 400 А (КС); 160, 250 А (ТСА).

В качестве контакторов в магнитных контроллерах применяются — контакторы серии КТ 6000 в ТА и ТСА (в магнитных контроллерах ДТА 161 в роторной цепи используются четырехполюсные контакторы серии КТ 6000); серий КТП 6000 (в статоре) и КТПВ 600 (в роторе) в КС 400; серии КТП 100 в К 60 и серии КТПВ 600 в К 160 и К 250.

Магнитные контроллеры каждой величины имеют несколько исполнений, отличающихся напряжением главной цепи, токами катушек реле максимальной защиты. Все исполнения контроллеров обеспечивают автоматический пуск (в функции времени), реверсирова-

Таблица 3-23

Основные технические данные магнитных контроллеров серий К, КС, ТА, ТСА

Тип контроллера	Режим работы механизмов	Назначение	Номинальный ток, А	Наибольший допустимый ток включения, А	Количество управляемых двигателей	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
							ширина	глубина	высота
К63 К160 К250 ДК63 ДК61 ДК62 ДК160 ДК250	Т, ВТ для кранов металлургического производства	Механизмы передвижения со встроенной защитой	63 160 250 63 63 63 160 250	250 700 1100 250 250 250 700 1100	1 1 1 2 4; 6 2 2	135 235 315 200 150 215 450 620	700 1000 2×700 1000 790 1000 700+1000 900+2×700	375 430 470 375 375 375 430 440	1520 1520 1520 1520 1520 1520 1520 1520
КС160 КС250 КС400 ДКС160 ДКС250		Механизмы подъема со встроенной защитой	160 250 400 160 250	700 1100 1700 700 1100	1 1 1 2 2	260 400 500 560 900	1000 700+790 700+1000 900+1000 1000+2×790	430 470 520 430 440	1520 1520 1520 1520 1520
ТА161 ДТА160 ДТА161 ДТА162	Л, С для кранов общего назначения	Механизмы передвижения без защиты	160 160 160 160	700 700 700 700	1 2 4; 6 1	80 110 55 107	550 650 500 650	400 400 400 400	1700 1700 1700 1700
ТА3160		Механизмы передвижения с защитой	160	700	1	140	2×400	400	1700
ТСА161		Механизмы подъема без защиты	160	700	1	110	2×400	400	1700
ТСА3160 ТСА3250		Механизмы подъема со встроенной защитой	160 250	700 1100	1 1	150 145	2×400 500+400	400 400	1700 1700

ние, торможение и ступенчатое регулирование скорости, которое осуществляется путем изменения сопротивления резисторов в фазах ротора.

Диапазон регулирования скорости при управлении магнитными контроллерами не превышает 3 : 1—4 : 1. Указанный диапазон, так же как и при управлении силовыми кулачковыми контроллерами серии ККТ 60А, реализуется в основном за счет толчковой работы (переключение командоконтроллера из одного положения в другое). Толчковый режим работы несколько ухудшает условия эксплуатации, увеличивает износ коммутационной аппаратуры, снижает производительность работы крана, утомляет крановщика и ухудшает энергетические показатели электропривода.

Все контроллеры серий К, КС, а также контроллеры ТСАЗ 160, ТСАЗ 250, ТАЗ 160 обеспечивают нулевую, максимальную и конечную защиты. В магнитных контроллерах К 63, ДК 61, ДК 62, ДК 63 не устанавливаются электромагниты максимальных реле. Они поставляются отдельно по индивидуальному заказу в зависимости от мощности и напряжения управляемых двигателей.

Таблица 3-24

Основные технические данные магнитных контроллеров серий ТСД, КСДБ

Тип контроллера	Режим работы механизмов	Назначение	Номинальный ток, А	Наибольший допустимый ток включения, А	Количество управляемых двигателей	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
							ширина	глубина	высота
ТСД160	Л, С, Т для кранов общего назначения	Механизм подъема без защиты Механизм подъема с защитой	160	700	1	160	800	315	1700
ТС160		Механизм подъема без блоков динамического торможения и без защиты	160	700	1	75	400	315	1700
ТСД250 ТСД400		Механизм подъема с защитой	250 400	1100 1700	1 1	300 500	1050 2000	325 400	1700 1700
КСДБ160 КСДБ250 КСДБ400	Т, ВТ для кранов металлургического производства	Механизмы подъема со встроенной защитой (на досках)	160 250 400	700 1100 1700	1 1 1	550 700 1000	2×800 2×1000 2×1000	640 640 640	1520 1520 1520

Магнитные контроллеры ТСА 161, а также все типы контроллеров ТА и ДТА не обеспечивают максимальной и нулевой защит. Эти контроллеры могут быть использованы только вместе с защитными панелями ПЗКБ 160 и ПЗКБ 400.

в) Магнитные контроллеры переменного тока серий ТСД и КСДБ

Контроллеры серий ТСД и КСДБ предназначены для управления крановыми асинхронными двигателями с фазным ротором серий МТН, MTF. Эти контроллеры должны в перспективе полностью заменить контроллеры серий КС и ТСА. По сравнению с последними контроллеры ТСД и КСДБ обеспечивают: повышение производительности крановых механизмов на 20—30% путем реализации устойчивого регулирования скорости в диапазоне 8 : 1, повышение не менее чем в 1,3 раза ресурса работы крановых магнитных контроллеров, улучшение энергетических показателей крановых электроприводов за счет снижения расхода энергии на 15—20%. Указанные достоинства получены путем использования принципа динамического торможения с самовозбуждением и применением тиристорных коммутаторов в силовой цепи.

Основные технические данные магнитных контроллеров серий КСДБ и ТСД приведены в табл. 3-24.

Магнитные контроллеры изготавливаются с цепью управления на постоянном токе (ТСД 400 и КСДБ), с цепью управления на переменном токе (ТСД 160 и ТСД 250).

Напряжение силовой цепи для всех контроллеров 380 В, 50 Гц.

Магнитные контроллеры ТСД, выполняемые с монтажом аппаратов на стальных каркасах (каркасно-реечная конструкция), предназначены для кранов общего назначения легкого, среднего и тяжелого режимов работы.

Контроллеры КСДБ предусмотрены с монтажом аппаратов на изоляционных досках с нагревостойкой изоляцией.

Магнитные контроллеры в пределах каждой серии имеют несколько типоисполнений, отличающихся номинальным током контакторов силовой цепи. В качестве силовых контакторов используются контакторы КТ 6000 и КТП 6000 в контроллерах ТСД и контакторы КТПВ 600 в контроллерах КСДБ.

В контроллерах КСДБ для повышения износостойкости контакторов в цепи статора и ротора включены силовые тиристорные блоки, обеспечивающие бестоковую коммутацию силовых цепей.

Магнитные контроллеры с цепями управления на постоянном токе имеют максимальную защиту. Контроллеры с цепями управления на переменном токе выполняются как с защитой, так и без нее. В последнем случае защита осуществляется общекрановой защитной панелью. В магнитных контроллерах с защитой устанавливаются механизмы максимальных реле. Катушки реле входят в комплект магнитного контроллера и поставляются отдельно в зависимости от мощности двигателя.

г) Магнитные контроллеры постоянного тока серий П и ПС

Магнитные контроллеры серии П и ПС предназначены для управления электродвигателями постоянного тока серий ДП и Д последовательного возбуждения и применяются в приводах крановых механизмов режимов работы Л, С, Т, ВТ и ОТ при наличии сети постоянного тока.

Контроллеры серии П используются в электроприводах механизмов горизонтального передвижения, серии ПС — в электроприводах механизмов подъема. В конструктивном отношении магнитные контроллеры серии П и ПС выполняются в двух модификациях: с установкой аппаратов на металлических рейках (применяются на кранах общего назначения) и с установкой на изоляционных досках (применяются в основном на кранах металлургического производства). Магнитные контроллеры изготавливаются в открытом исполнении (степень защиты IP00) для умеренного и тропичес-

Таблица 3-25

Основные технические данные контроллеров серий П и ПС

Тип контроллера	Режим работы	Исполнение	Назначение	Номинальный ток, А	Максимально допустимый ток включения, А	Количество управляемых двигателей	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
								ширина	глубина	высота
П160	Л, С, Т, ВТ для кранов общего назначения	Каркасно-реечная конструкция	Механизмы горизонтального передвижения	160	450	1	117	700	360	1700
П250				250	800	1	170	790	390	1700
ДП63				63	200	2	80	700	340	1700
ДП160				160	450	2	210	600—700	360	1700
ДП250				250	800	2	310	2×790	390	1700
ПС160			Механизмы подъема	160	450	1	120	700	360	1700
ПС250				250	800	1	170	790	390	1700
ДПС160				160	450	2	172	2×700	360	1700
ДПС250				250	800	2	215	2×790	390	1700
П160	Л, С, Т, ВТ для кранов металлургического производства	На изоляционных досках	Механизмы горизонтального передвижения	160	450	1	150	700	360	1700
П250				250	800	1	230	790	390	1700
П630				630	2000	1	410	1000	630	1700
ДП160				160	450	2	280	600—700	360	1700
ДП250				250	800	2	400	2×790	390	1700
ДП630				630	2000	2	560	2×1000	630	1700
ПС160			Механизмы подъема	160	450	1	175	700	360	1700
ПС250				250	800	1	200	790	390	1700
ПС630				630	2000	1	350	1000	630	1700
ДПС160				160	450	2	260	2×700	360	1700
ДПС250				250	800	2	430	2×790	390	1700
ДПС630				630	2000	2	780	2×1000	630	1700

кого климата. Категория размещения 3. Обслуживание контроллеров с передней стороны, рабочее положение — вертикальное.

Основные технические данные контроллеров серии П и ПС для умеренного климата приведены в табл. 3-25. Контроллеры серии П и ПС выполняются на напряжение силовой цепи 220 В. Контроллеры на изоляционных досках имеют также исполнения на 440 В. Однако использование их допускается только при значительно меньших нагрузках. Напряжение цепи управления для всех контроллеров 220 В постоянного тока, что обусловливается прежде всего условиями надежности и безопасности обслуживания.

По номинальному току контакторов силовой цепи магнитные контроллеры выполняются на 63, 160, 250 и 630 А. В качестве силовых контакторов используются контакторы серии КПВ 600 в контроллерах каркасно-реечной конструкции и серии КПД 100 в контроллерах на изоляционных досках.

Для управления двумя двигателями предусмотрены контроллеры типа ДП (для механизмов передвижения) и ДПС (для механизмов подъема). Допускается кратковременная работа с одним электродвигателем, для чего на контроллерах установлены переключатели. Работа в этом режиме возможна только как аварийная (разовый спуск груза).

Все контроллеры постоянного тока обеспечивают пуск, реверсирование, торможение, устойчивый диапазон регулирования скорости 4 : 1—5 : 1 и имеют максимальную и нулевую защиты.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И РЕГУЛЯТОРЫ

4-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В крановых электроприводах все более широкое применение получают устройства с использованием полупроводниковых элементов. С помощью таких устройств представляется возможным создать принципиально новые системы электроприводов, отличающиеся более высокими качественными показателями, чем электроприводы, выполненные на основе релейно-контакторной аппаратуры. В настоящее время для крановых приводов отечественной промышленностью налажено серийное производство полупроводниковых преобразователей постоянного тока, преобразователей частоты и полупроводниковых регуляторов напряжения переменного тока. Силовая часть этих преобразователей и регуляторов выполнена на основе применения полупроводниковых диодов и тиристоров. Принципы построения и основные технические данные указанных видов устройств рассмотрены в последующих параграфах данного раздела.

4-2. ТИРИСТОРНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Тиристорные регуляторы напряжения представляют собой устройства, предназначенные для регулирования частоты вращения и момента асинхронных двигателей. Регулирование частоты вращения и момента производится за счет изменения напряжения, подводимого к статору, и осуществляется изменением угла открытия тиристоров. Такой способ управления асинхронным двигателем получил название фазового управления. Этот способ является разновидностью параметрического (амплитудного) управления.

Тиристорные регуляторы напряжения могут выполняться как с замкнутой, так и с разомкнутой системой регулирования. Регуляторы с разомкнутой системой не обеспечивают удовлетворительного качества процесса регулирования частоты вращения. Основное их назначение — регулирование момента для получения нужного режима работы привода в динамических процессах.

Тиристорные регуляторы с замкнутой системой регулирования используются, как правило, с отрицательной обратной связью по скорости, что позволяет иметь достаточно жесткие механические характеристики привода в зоне малых частот вращения.

Наиболее эффективно использование тиристорных регуляторов для регулирования частоты вращения и момента асинхронных двигателей с фазным ротором.

а) Силовые цепи тиристорных регуляторов

На рис. 4-1, *а—д* показаны возможные схемы включения выпрямительных элементов регулятора в одной фазе. Наиболее распространенной из них является схема на рис. 4-1, *а*. Она может быть использована при любой схеме соединения обмоток статора. Допустимый ток через нагрузку (действующее значение) в этой схеме в режиме непрерывного тока равен:

$$I_{\text{н}} \leqslant \frac{\pi}{\sqrt{2}} I_{\text{т}},$$

где $I_{\text{т}}$ — допустимое среднее значение тока через тиристор.

Максимальное прямое и обратное напряжения тиристора

$$U \geqslant k_{\text{зап}} \sqrt{2}\, U_{\text{с}},$$

где $k_{\text{зап}}$ — коэффициент запаса, выбираемый с учетом возможных коммутационных перенапряжений в схеме; $U_{\text{с}}$ — действующее значение линейного напряжения сети.

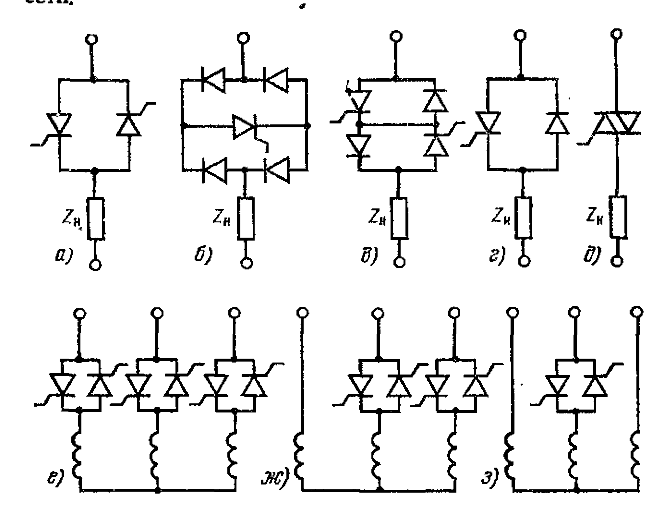


Рис. 4-1. Схемы силовых цепей тиристорных регуляторов напряжения.

В схеме на рис. 4-1, *б* имеется только один тиристор, включенный в диагональ моста из неуправляемых диодов. Соотношение между токами нагрузки и тиристора для этой схемы имеет вид:

$$I_н \leqslant \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_т.$$

Неуправляемые диоды выбираются на ток вдвое меньший, чем для тиристора. Максимальное прямое напряжение на тиристоре

$$U_{пр} \geqslant k_{зап} \sqrt{2}\, U_c.$$

Обратное напряжение на тиристоре близко к нулю.

Схема на рис. 4-1, *б* имеет некоторые отличия от схемы на рис. 4-1, *а* по построению системы управления. В схеме на рис. 4-1, *а* управляющие импульсы на каждый из тиристоров должны следовать с частотой питающей сети. В схеме на рис. 4-1, *б* частота импульсов управления вдвое больше.

Схема на рис. 4-1, *в*, состоящая из двух тиристоров и двух диодов, по возможности управления, загрузке по току и максимальному прямому напряжению тиристоров аналогична схеме на рис. 4-1, *а*.

Обратное напряжение в этой схеме из-за шунтирующего действия диода близко к нулю.

Схема на рис. 4-1, *г* по току и максимальному прямому и обратному напряжению тиристоров аналогична схеме на рис. 4-1, *а*. Схема на рис. 4-1, *г* отличается от рассмотренных требованиями к системе управления по обеспечению необходимого диапазона изменения угла регулирования α тиристоров. Если угол α отсчитывать от нуля фазного напряжения, то для схем на рис. 4-1, *а—в* справедливо соотношение $\varphi < \alpha < 150°$, где φ — фазовый угол нагрузки. Для схемы на рис. 4-1, *г* аналогичное соотношение приобретает вид: $\varphi < \alpha < 210°$.

Необходимость увеличения диапазона изменения угла α усложняет систему управления тиристорами. Схема на рис. 4-1, *г* может быть применена при включении обмоток статора в звезду без нулевого провода и в треугольник с включением выпрямительных элементов в линейные провода. Область применения указанной схемы ограничена нереверсивными, а также реверсивными электроприводами с контактным реверсом.

Схема на рис. 4-1, *д* по своим свойствам аналогична схеме на рис. 4-1, *а*. Ток симистора здесь равен току нагрузки, а частота импульсов управления равна двойной частоте питающего напряжения. Недостаток схемы на симисторах — значительно меньше, чем у обычных тиристоров, допустимые значения du/dt и di/dt.

Для тиристорных регуляторов наиболее рациональна схема на рис. 4-1, *а* с двумя встречно-параллельно включенными тиристорами.

Силовые схемы регуляторов выполняются с встречно-параллельно включенными тиристорами во всех трех фазах (симметричная трехфазная схема), в двух и одной фазах двигателя, как показано на рис. 4-1, *е*, *ж* и *з* соответственно.

В регуляторах, применяемых в крановых электроприводах, наибольшее распространение получила симметричная схема включения, показанная на рис. 4-1, *е*, которая характеризуется наименьшими потерями от высших гармонических токов. Более высокие значения потерь в схемах с четырьмя и двумя тиристорами определяются несимметрией напряжения в фазах двигателя.

б) Основные технические данные тиристорных регуляторов серии РСТ

Тиристорные регуляторы серии РСТ представляют собой устройства для изменения (по заданному закону) напряжения, подводимого к статору асинхронного двигателя с фазным ротором. Тиристорные регуляторы серии РСТ выполняются по симметричной трехфазной схеме включения (рис. 4-1, *е*). Применение регуляторов указанной серии в крановых электроприводах позволяет осуществлять регулирование частоты вращения в диапазоне 10 : 1 и регулирование момента двигателя в динамических режимах при пуске и торможении.

Тиристорные регуляторы серии РСТ выполняются на длительные токи 100, 160 и 320 А (максимальные токи соответственно 200, 320 и 640 А) и напряжение 220 и 380 В переменного тока. Регулятор представляет собой собранные на общей раме три силовых блока (по числу фаз встречно-параллельно включенных тиристоров), блок датчиков тока и блок автоматики. В силовых блоках используются таблеточные тиристоры с охладителями из тянутого алюминиевого профиля. Охлаждение воздушное — естественное. Блок автоматики — единый для всех исполнений регуляторов. Тиристорные регуляторы выполнены со степенью защиты IP00 и предназначены для установки на стандартные рамы магнитных контроллеров типа ТТЗ, которые по конструкции аналогичны контроллерам серий ТА и ТСА (см. § 3-7). Габаритные размеры и масса регуляторов серии РСТ указаны в табл. 4-1.

Таблица 4-1

Габаритные размеры и масса регуляторов напряжения серии РСТ

Тип регулятора	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	ширина	глубина	высота	
РСТ110	600	305	905	102
РСТ210	600	365	975	120
РСТ310	600	450	1380	215

В магнитных контроллерах ТТЗ установлены контакторы направления для реверсирования двигателя, контакторы роторной цепи и другие релейно-контактные элементы электропривода, осуществляющие связь командоконтроллера с тиристорным регулятором. Структура построения системы управления регулятора видна из функциональной схемы электропривода, показанной на рис. 4-2. Трехфазный симметричный тиристорный блок *Т* управляется системой фазового управления *СФУ*. С помощью командоконтроллера *КК* в регуляторе производится изменение задания скорости *БЗС*. Через блок *БЗС* в функции времени осуществляется управление контактором ускорения *КУ2* в цепи ротора. Разность сигналов задания и тахогенератора *ТГ* усиливается усилителями *У1* и *У3*. К выходу усилителя *У3* подключено логическое релейное устройство, имеющее два устойчивых состояния: одно соответствует включению контактора направления вперед *КВ*, второе — включению контактора направления назад *КН*.

Одновременно с изменением состояния логического устройства реверсируется сигнал в цепи управления *РУ*. Сигнал с согласующего усилителя *У2* суммируется с сигналом задержанной обратной связи по току статора двигателя, который поступает с блока токоограничения *ТО* и подается на вход *СФУ*. На блок логики *БЛ* воздействует также сигнал с блока датчиков тока *ДТ* и блока наличия тока *НТ*, запрещающий переключение контакторов направления под током. Блоком *БЛ* осуществляется также нелинейная коррекция системы стабилизации частоты вращения для обеспечения устойчивости работы привода. Регуляторы могут быть использованы в электроприводах механизмов подъема и передвижения.

Регуляторы серии РСТ выполнены с системой ограничения тока. Уровень токоограничения для защиты тиристоров от перегрузок и для ограничения мо-

мента двигателя в динамических режимах плавно изменяется от 0,65 до 1,5 номинального тока регулятора, уровень токоограничения для максимально-токовой защиты — от 0,9 до 2,0 номинального тока регулятора. Широкий диапазон изменения уставок защиты обеспечивает работу регулятора одного типоразмера с двигателями, отличающимися по мощности примерно в 2 раза.

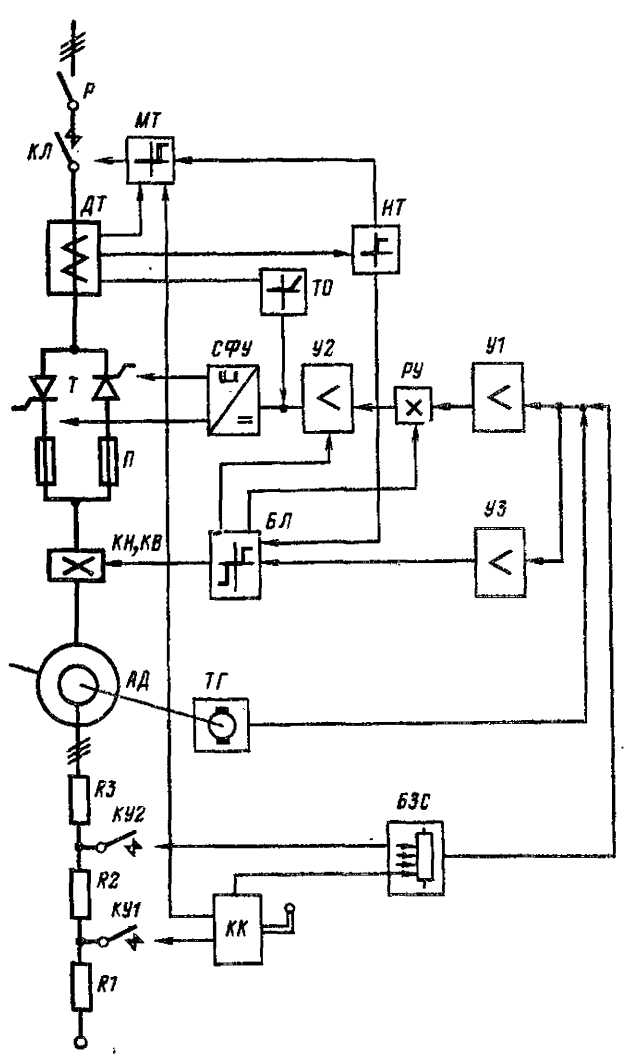


Рис. 4-2. Функциональная схема электропривода с тиристорным регулятором типа РСТ.

КК — командоконтроллер; *ТГ* — тахогенератор; *КН*, *КВ* — контакторы направления; *БЗС* — блок задания скорости; *БЛ* — блок логики; *У1*, *У2*, *У3* — усилители; *СФУ* — система фазового управления; *ДТ* — датчик тока; *НТ* — блок наличия тока; *ТО* — блок токоограничения; *МТ* — блок защиты; *КУ1*, *КУ2* — контакторы ускорения; *КЛ* — линейный контактор; *Р* — рубильник.

Чувствительность системы наличия тока составляет 5—10 А действующего значения тока в фазе. В регуляторе предусмотрены также защиты: нулевая, от коммутационных перенапряжений, от исчезновения тока хотя бы в одной из фаз (блоки *НТ* и *МТ*), от помех радиоприему. Быстродействующими плавкими предохранителями типа ПНБ 5М осуществляется защита от токов короткого замыкания.

4-3. ТИРИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В крановых асинхронных электроприводах используются два типа преобразователей частоты: с непосредственной связью (ПЧН) и с промежуточным звеном постоянного тока инверторного типа (ПЧИ).

При этом можно выделить два основных направления использования указанных преобразователей: в системах с высокими требованиями к диапазону регулирования, в которых преобразователи обеспечивают частотное регулирование только в зоне малых скоростей, и в электроприводах высокопроизводительных крановых механизмов с применением только частотного регулирования (в том числе и в зоне скоростей выше номинальной), обеспечивающего возможность выбора оптимального режима работы механизма при высоком уровне реализации установленной мощности.

а) Преобразователи частоты с непосредственной связью

Принцип действия, силовые схемы. В ПЧН напряжение выходной частоты формируется из отрезков синусоид питающего напряжения, как это показано на рис. 4-3 для одной фазы с активной нагрузкой. Каждая фаза ПЧН состоит из двух встречно-включенных групп вентилей, формирующих полуволны напряжения на нагрузке. Частота выходного напряжения определяется длительностью промежутков времени пропускания тока обеими группами, а гашение вентилей происходит в момент смены полярности на них. Вследствие этого частота на выходе ПЧН ниже частоты питающего напряжения. Регулирование напряжения осуществляется изменением угла открывания вентилей.

В ПЧН сравнительно просто решается вопрос обеспечения режима рекуперативного торможения и циркуляции реактивной энергии путем соответст[illegible]его управления прямой и обратной группами венти[illegible]ти[illegible] При этом возможно как совместное, так и раздельно[illegible]равление группами. Применение совместного управления, как в преобразователях постоянного тока, приводит к возникновению уравнительных токов и к необходимости введения в силовую схему уравнительных реакторов для снижения указанных токов. Реализация раздельного управле[illegible] схемах ПЧН сопряжена со значительными трудно[illegible] требует применения датчиков тока.

Для использования простых силовых схем без лишних реакторных элементов и упрощения схемы управления в ПЧН для крановых электроприводов используется программное управление, при котором заранее задаются фиксированные значения времени работы каждой из групп в выпрямительном и инверторном режимах и пауза между подачей импульсов на тиристоры обеих групп.

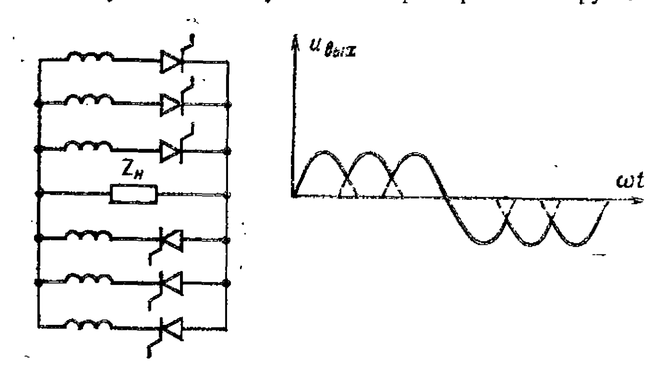


Рис. 4-3. Формирование кривой выходного напряжения ПЧН.

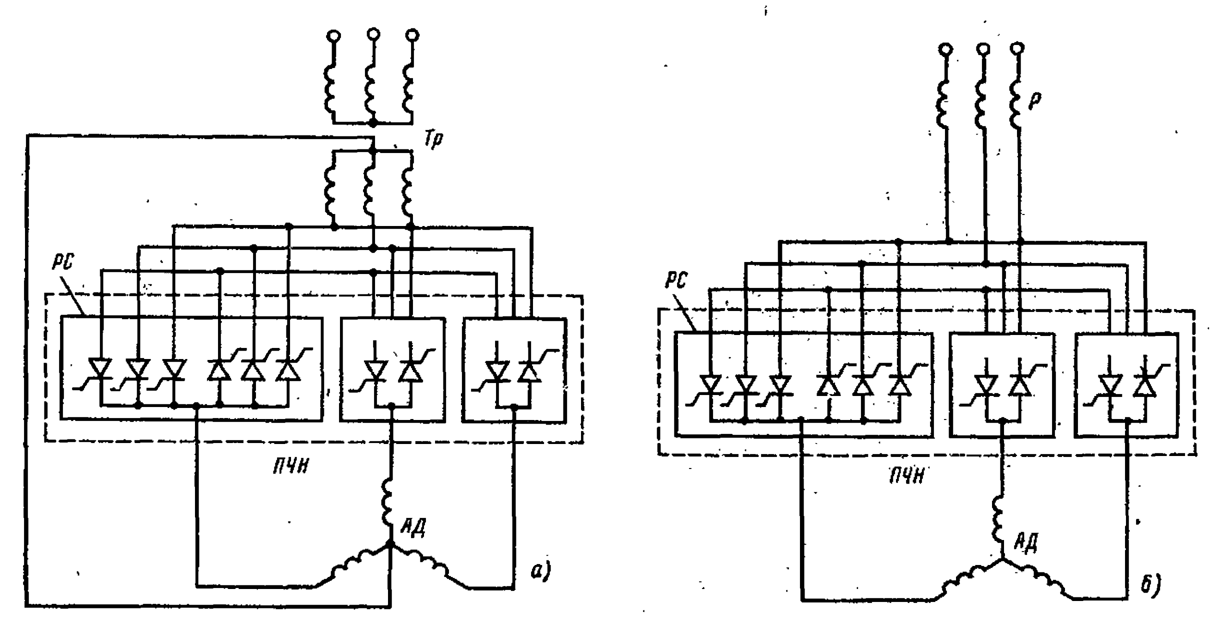


Рис. 4-4. Схемы ПЧН

а — нулевая схема с 18 тиристорами; *б* — мостовая схема с 18 тиристорами; *Тр* — трансформатор; *Р* — реактор; *РС* — развернутая схема подключения тиристоров в одной фазе.

Силовые схемы ПЧН выполняются в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями по мощности, верхнему пределу выходной частоты и особенностям построения системы электропривода (см. разд. 10). При этом серийно выпускаемые промышленностью ПЧН выполняются по нулевой или мостовой схемам на 18 тиристор. Первая из этих схем имеет наиболее простую схему управления, однако в связи с наличием нулевого провода она требует специального согласующего трансформатора, который одновременно выполняет функции токоограничения в аварийных режимах.

В ПЧН мостового типа значительно усложняется схема управления, однако отпадает необходимость в трансформаторе, а для токоограничения применяется входной реактор. Для систем большой мощности используются ПЧН мостового типа на 36 тиристорах. Однако серийно такие ПЧН промышленностью не выпускаются. Силовые схемы ПЧН, выпускаемые промышленностью, приведены на рис. 4-4. Схемы регулирования ПЧН связаны с построением электроприводов и рассматриваются в разд. 10.

Выходные характеристики ПЧН. Выходная частота ПЧН f_2 связана с частотой питающего напряжения при отсутствии паузы между работой анодной и катодной групп вентилей соотношением

$$f_2=\frac{m}{2(n-1)+m}f_1, \qquad (4\text{-}1)$$

где n — число выпрямленных полуволн основной частоты в кривой выходного напряжения; m — число тактов выпрямления.

В соответствии с (4-1) для трехфазного ПЧН по нулевой схеме ($n=3$; $m=3$) $f_2=0{,}4f$, а для ПЧН мостового типа ($n=3$; $m=6$) $f_2=0{,}6f_1$. Из (4-1) также видно, что при отсутствии указанной паузы выходная частота является дискретной величиной зависимой от m и n.

Кривая выходного напряжения ПЧН в общем случае имеет сложную форму, зависящую от принятого вида модуляции, угла открывания вентилей α, соотношения между входной и выходной частотами, числа тактов m выпрямления; числа фаз источника питания, характера и параметров нагрузки. В выпускаемых промышленностью ПНЧ модуляция осуществляется по наиболее простой в реализации прямоугольной модуляции. В этом случае действующее значение выходного напряжения ПЧН определяется выражением

$$U_{2д}=\frac{2m}{\pi^2}U_{1ф}\cos\frac{\varphi_{пауз}}{2}\sin\frac{\pi}{m}\left[\cos\alpha-(U_{g*}+U_{r*})\right], \qquad (4\text{-}2)$$

где $U_{1ф}$ — действующее значение питающего напряжения; $\varphi_{пауз}$ — угол, соответствующий времени паузы на частоте выхода; $U_{g*}=(1-\cos\gamma)/2$; U_{r*} — относительное падение напряжения соответственно в индуктивных и активных сопротивлениях ПЧН; γ — угол коммутации вентилей.

Действующее значение первой гармоники фазного выходного напряжения НПЧ

$$U_{2ф}=\sqrt{2}\,U_{1ф}\times$$

$$\times\sqrt{(1-U_{g*}+U_{r*})+\frac{m}{4\pi}\sin\frac{2\pi}{m}\cos 2\alpha}\,. \qquad (4\text{-}3)$$

Действующие значения первых гармоник входного тока НПЧ и тока $I_{2ф}$ нагрузки связаны между собой приближенной формулой

$$I_{2ф}=\frac{4m}{\pi^2}\sin\frac{\pi}{m}I_{1ф}\cos\varphi\cos\alpha, \qquad (4\text{-}4)$$

а действующее значение тока нагрузки определяется выражением

$$I_{2д}=\frac{\sqrt{2}\,m}{\pi}\sin\frac{\pi}{m}I_{1ф}\times$$

$$\times\cos\alpha\sqrt{1-\frac{2}{\pi}\,\frac{1-\exp(-\pi\operatorname{ctg}\varphi)}{1+\exp(-\pi\operatorname{ctg}\varphi)}\operatorname{tg}\varphi}\,. \qquad (4\text{-}5)$$

б) Преобразователи частоты со звеном постоянного тока инверторного типа

Принцип действия, силовые схемы ПЧИ. Основным узлом в ПЧИ рассматриваемого типа является автономный инвертор (АИ), который преобразует выпрямленное напряжение в трехфазное напряжение регулируемой частоты. Несмотря на большое разнообразие трехфазных тиристорных инверторов, все они строятся на основе трехфазной мостовой схемы включения тиристоров. Преобразование постоянного напряжения питания в трехфазное напряжение необходимой частоты осуществляется переключением с заданной частотой и определенной последовательностью тиристоров в плечах моста. Неотъемлемой частью тиристорных инверторов являются устройства принудительной коммутации, предназначенные для запирания тиристоров.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к электроприводам с рассматриваемыми типами преобразователей, последние должны обеспечивать глубокое двухзонное регулирование скорости, режим рекуперативного торможения с передачей энергии в сеть, формирование требуемых механических характеристик. Наиболее полно указанным требованиям удовлетворяют схемы ПЧИ, представленные на рис. 4-5. На рис. 4-5, *а* показана схема ПЧИ с АИ напряжения, по которой построены выпускаемые промышленностью ПЧИ. В состав ПЧИ входят АИ с группой вентилей прямого *ПТ* и обратного *ОТ* токов, управляемый выпрямитель *УВ* с *LC*-фильтром и ведомый *ВИ* инвертор. Выпрямитель осуществляет регулирование напряжения ПЧИ, а ведомый инвертор обеспечивает пропуск реактивной и активной энергии двигателя в питающую сеть. Автономный инвертор собран по наиболее простой схеме с междуфазовой коммутацией тиристоров при законе коммутации $\gamma=2\pi/3$ и отдельным источником подзаряда коммутирующих конденсаторов. Область применения таких ПЧИ вследствие их сложности — электроприводы мощностью от 50 кВт и выше.

На рис. 4-5, *б* представлена схема ПЧИ с АИ тока, который находится в стадии промышленного освоения. Преобразователь имеет помимо АИ только *УВ* с *L*-фильтром большой индуктивности, и, как видно из схемы, его силовая схема намного проще ПЧИ с АИ напряжения, соответственно ниже масса и габариты ПЧИ. Однако такой ПЧИ может работать только в замкнутой системе частотно-токового управления. При этом разработанные в настоящее время схемы требуют наличия датчиков скольжения, что значительно снижает надежность электропривода. Следует также отметить, что в ПЧИ с АИ напряжения в отличие от ПЧИ с АИ тока возможно совмещение в одном реакторе функций фильтра и токоограничения, поэтому преимущества ПЧИ с АИ тока по массогабаритным показателям с ростом мощности электропривода снижаются и областью их применения для крановых систем являются электроприводы мощностью от 25 до 80 кВт.

Выходные характеристики ПЧИ. Для приведенной выше схемы ПЧИ с АИ напряжения при законе коммутации $\gamma=120°$ характерным является зависимость формы выходного напряжения от параметров нагрузки. При этом справедливы следующие соотношения между напряжением постоянного тока U_d на входе АИ и фазным $U_ф$ напряжением двигателя:

$$U_ф=\frac{\sqrt{2}}{\pi}k_u U_d; \qquad (4\text{-}6)$$

$$k_u=\sqrt{2-\frac{1}{4}\left[5\cos\gamma_1+\sqrt{3}\sin 5\gamma_1\right]}; \qquad (4\text{-}7)$$

$$\gamma_1=\operatorname{tg}\varphi\ln\frac{4a-5}{a-2}; \qquad (4\text{-}8)$$

$$a=e^{-\pi/3\,\operatorname{tg}\varphi}, \qquad (4\text{-}9)$$

где γ_1 — угол одновременной работы вентилей прямой и обратной групп, зависящий от угла φ нагрузки и изменяющийся в пределах $a<\gamma_1<\pi/3$. При $\cos\varphi\leqslant 0{,}55$ согласно (4-7) $k_u=1$, а при $\cos\varphi=0$ $k_u=\sqrt{3}/2$.

Фазный ток двигателя определяется выражением

$$I_ф=U_ф/z_ф, \qquad (4\text{-}10)$$

где $z_ф$ — сопротивление фазы схемы замещения двигателя, а постоянный ток на входе АИ и фазный ток двигателя без учета влияния высших гармоник связаны соотношением

$$I_d=\frac{\sqrt{6}}{\pi}I_1\cos\varphi. \qquad (4\text{-}11)$$

Для ПЧИ с АИ тока справедливы следующие соотношения:

$$U_d=\frac{3}{\pi}\sqrt{6}\,U_ф\cos\varphi; \qquad (4\text{-}12)$$

$$U_d=\frac{3}{\pi}\sqrt{6}\,U_ф\cos\beta+\frac{I_d x_q}{\sqrt{6}\,U_{ср}}; \qquad (4\text{-}13)$$

$$\sqrt{6}\,U_ф(\cos\delta-\cos\beta)=2I_d x_a; \qquad (4\text{-}1$$

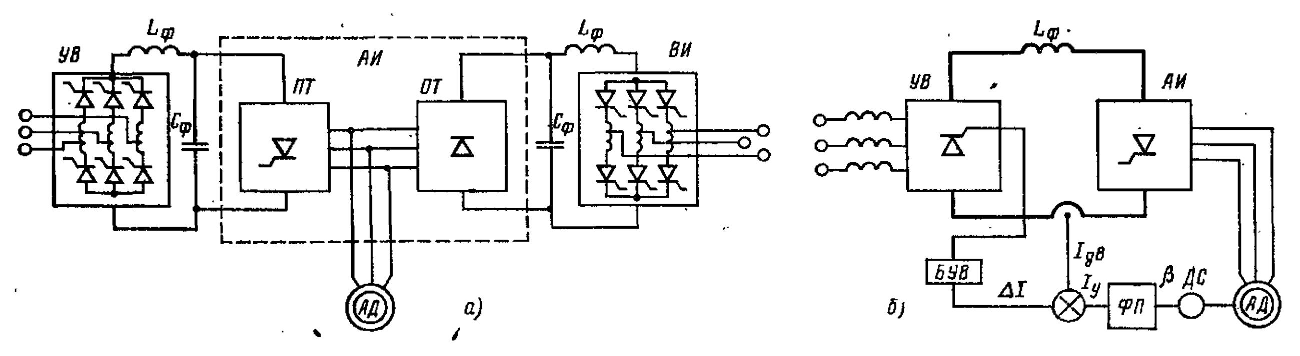


Рис. 4-5. Схемы ПЧИ.

а — с инвертором напряжения; *б* — с инвертором тока; *УВ* — управляемый выпрямитель; *АИ* — автономный инвертор; *ПТ* и *ОТ* — группы вентилей прямого и обратного токов; $L_ф$, $C_ф$ — реактор и конденсатор фильтра; *ВИ* — ведомый инвертор; *ДС* — датчик скольжения; *ФП* — функциональный преобразователь; *БУВ* — блок управления выпрямителем.

$$I_{\text{ф}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d; \tag{4-15}$$

$$I_{\text{ф}} = U_{\text{ф}}/z_{\text{ф}}, \tag{4-16}$$

где x_a — индуктивное сопротивление анодной цепи; β — угол опережения открытия вентилей; δ — угол отключения инвертора, отсчитываемый от момента окончания коммутации тока до изменения полярности напряжения на вентиле.

Несинусоидальность кривой выходного напряжения ПЧИ приводит к возникновению высших гармонических токов. При этом мгновенное значение тока двигателя может быть представлено выражением

$$i(\vartheta) = i_1(\vartheta) + \sum_{k>1}^{\infty} i_k(\vartheta), \tag{4-17}$$

где $i_1(\vartheta)$ — первая гармоника тока двигателя, а $\sum_{k>1}^{\infty} i_k(\vartheta)$ — сумма токов высших гармоник; $\vartheta = 2\pi f_2 t$; f_2 — частота выходного напряжения.

Сумма токов высших гармоник определяется параметрами схемы замещения двигателя в режиме короткого замыкания и может быть найдена разложением в ряд кривой выходного напряжения. Высшие гармонические напряжения и тока практически не оказывают влияния на среднее значение электромагнитного момента машины, однако увеличивают на 10—12% потери в двигателе.

в) Технические данные преобразователей частоты для крановых электроприводов

Для крановых электроприводов промышленностью выпускаются ПЧН мощностью 16, 40 и 80 кВт типа ТТС, обеспечивающие управление асинхронными двигателями мощностью от 2 до 80 кВт, и ПЧН с АИ напряжения для электроприводов мощностью от 50 до 80 кВт типа ПЧИ. В стадии промышленного освоения находятся ПЧИ с АИ тока для электроприводов мощностью 25—60 кВт. Преобразователи частоты обеспечивают плавный частотный пуск, торможение и реверс двигателей.

Преобразователи ТТС 16 и ТТС 40 выполнены по нулевой схеме, а ТТС 80 — по мостовой схеме на 18 тиристорах. Преобразователь ТТС 80 может работать в режиме бестокового коммутатора. Преобразователи типа ПЧИ выполнены по рассмотренным выше схемам.

Технические данные преобразователей приведены в табл. 4-2.

4-4. ТИРИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Тиристорным преобразователем постоянного тока (ТП) является устройство для преобразования переменного тока в постоянный с регулированием по заданному закону выходных параметров (тока и напряжения). Тиристорные преобразователи предназначаются для питания якорных цепей двигателей и их обмоток возбуждения.

Преобразователи состоят из следующих основных узлов: трансформатора или токоограничивающего реактора на стороне переменного тока, выпрямительных блоков, сглаживающих реакторов, элементов системы управления, защиты и сигнализации. Трансформатор осуществляет согласование входного и выходного напряжений преобразователя и (так же, как и токоограничивающий реактор) ограничение тока короткого замыкания во входных цепях. Сглаживающие реакторы предназначаются для сглаживания пульсаций выпрямленных напряжения и тока. Реакторы не предусматриваются, если индуктивность нагрузки достаточна для ограничения пульсаций в заданных пределах.

Применение ТП постоянного тока позволяет реализовать практически те же характеристики электропривода, что и при использовании вращающихся преобразова-

Таблица 4-2

Технические данные преобразователей частоты для крановых электроприводов

Тип преобразователя	Схема преобразователя	Диапазон изменения: первой гармоники напряжения, В	Диапазон изменения: выходной частоты, Гц	Ток, А: в режиме ПВ=40%	Ток, А: максимальный	Состав комплекта	Габаритные размеры (высота×ширина×глубина), мм	Масса, кг
ТТС80	ПЧН по мостовой схеме	25—230 с выходом на напряжение сети	2—30 с выходом на частоту сети	180	360	Силовой шкаф с блоками управления	1615×770×365	270
ТТС40 ТТС16	ПЧН по нулевой схеме	25—150	3—20	135 63	270 135		1175×770×355 1155×770×292	175 120
ПЧИ80	ПЧИ с АИ напряжения			180	360	Силовой шкаф; шкаф управления; шкаф защиты; реактор	1615×770×365 1615×770×365 1155×770×295 685×675×500	370 270 120 55
ПЧИ60		20—340	5—50 под нагрузкой; 5—75 на холостых ходах	135	270	Силовой шкаф с блоками управления; реактор фильтра	1615×770×365 8°5×675×500	300 85
ПЧИ30	ПЧИ с АИ тока			63	135	Силовой шкаф с блоками управления; реактор фильтра	1175×770×355 685×675×500	170 55

Примечание. Цифры в обозначении типа преобразователей ТТС обозначают потребляемую мощность при его номинальных выходных параметрах, а в обозначении преобразователей ПЧИ — его выходную мощность в режиме ПВ=40%.

телей в системах Г — Д, т. е. регулировать в широких пределах частоту вращения и момент двигателя, получать специальные механические характеристики и нужный характер протекания переходных процессов при пуске, торможении, реверсе и т. д. Однако по сравнению с вращающимися статические преобразователи имеют целый ряд известных преимуществ, поэтому в новых разработках крановых электроприводов предпочтение отдается статическим преобразователям. Тиристорные преобразователи постоянного тока наиболее перспективны для применения в электроприводах крановых механизмов мощностью свыше 50—100 кВт и механизмов, где требуется получение специальных характеристик привода в статических и динамических режимах.

а) Схемы выпрямления, принципы построения силовых цепей преобразователей

Тиристорные преобразователи выполняются с однофазными и многофазными схемами выпрямления. В табл. 4-3 приведены некоторые расчетные соотношения основных схем выпрямления. Одна из таких схем показана на рис. 4-6, *а*. Регулирование выпрямленного напряжения U_d и тока I_d производится путем изменения угла управления α. На рис. 4-6, *б-д* для примера показан характер изменения токов и напряжений в трехфазной нулевой схеме выпрямления при активно-

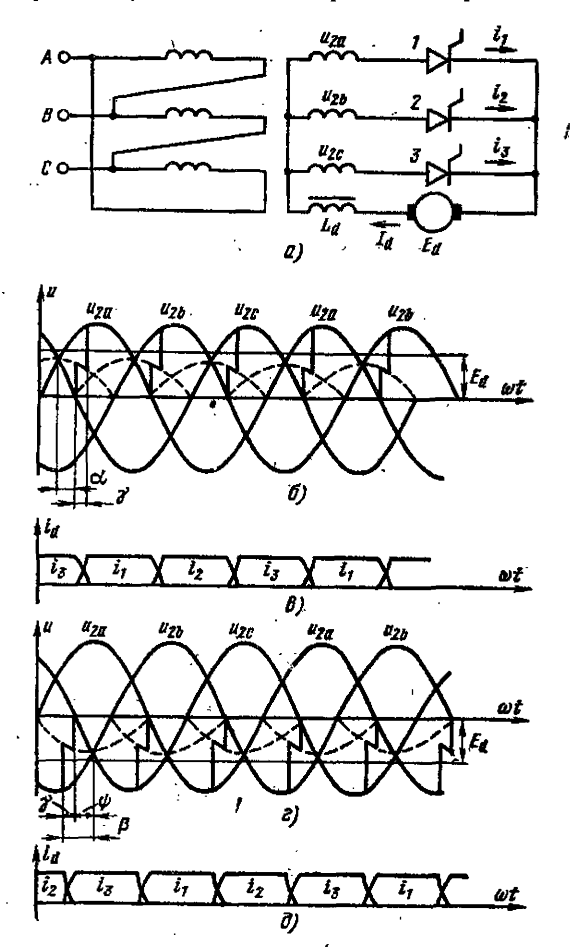


Рис. 4-6. Трехфазная нулевая схема (*а*) и диаграммы изменения тока и напряжения в выпрямительном (*б*, *в*) и инверторном (*г*, *д*) режимах.

индуктивной нагрузке ($L_d = \infty$). Показанный на диаграммах угол γ (угол коммутации), характеризует период времени, в течение которого ток протекает одновременно по двум тиристорам. Зависимость среднего значения выпрямленного напряжения U_d от угла регулирования α называется регулировочной характеристикой.

В табл. 4-3 даны законы изменения этого напряжения в режимах прерывистого и непрерывного токов. В приведенных зависимостях U_{d0} — среднее выпрямленное напряжение при $\alpha=0$.

Для нулевых схем это напряжение определяется из выражения

$$U_{d0} = \frac{m}{\pi} \sqrt{2}\, U_{2\text{ф}} \sin\frac{\pi}{m},$$

где m — число фаз вторичной обмотки трансформатора; $U_{2\text{ф}}$ — действующее значение фазового напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Для мостовых схем U_{d0} в 2 раза выше, так как эти схемы эквивалентны последовательному включению двух нулевых схем.

Однофазные схемы выпрямления используются, как правило, в цепях с относительно большими индуктивными сопротивлениями. Это цепи независимых обмоток возбуждения двигателей, а также якорные цепи двигателей небольшой мощности (до 10—15 кВт). Многофазные схемы используются в основном для питания якорных цепей двигателей мощностью свыше 15—20 кВт и реже для питания обмоток возбуждения. По сравнению с однофазными многофазные схемы выпрямления имеют целый ряд преимуществ. Основными из них являются: меньшие пульсации выпрямленного напряжения и тока, лучшее использование трансформатора и тиристоров, симметричная нагрузка фаз питающей сети.

В ТП постоянного тока, предназначенных для крановых приводов мощностью свыше 20 кВт, наиболее оправдано применение трехфазной мостовой схемы. Это обусловлено хорошим использованием трансформатора и тиристоров, низким уровнем пульсаций выпрямленного напряжения и тока, а также простотой схемы и конструкции трансформатора. Известным достоинством трехфазной мостовой схемы является и то, что она может быть выполнена не с трансформаторной связью, а с токоограничивающим реактором, габариты которого существенно меньше габаритов трансформатора.

В трехфазной нулевой схеме условия использования трансформатора при обычно применяемых группах соединения $\curlywedge/\curlywedge$ и $\Delta/\curlywedge$ хуже из-за наличия постоянной составляющей потока. Это приводит к увеличению сечения магнитопровода и, следовательно, расчетной мощности трансформатора. Для исключения постоянной составляющей потока применяют соединение вторичных обмоток трансформатора в «зигзаг», что также несколько увеличивает расчетную мощность. Увеличенный уровень пульсаций выпрямленного напряжения вместе с отмеченным выше недостатком ограничивает использование трехфазной нулевой схемы.

Шестифазная схема с уравнительным реактором целесообразна при использовании ее на низкое напряжение и большой ток, так как в этой схеме нагрузочный ток протекает параллельно, а не последовательно через два диода, как в трехфазной мостовой схеме. Недостатком этой схемы является наличие уравнительного реактора, имеющего типовую мощность около 70% выпрямленной номинальной мощности. Кроме того, в шестифазных схемах используется довольно сложная конструкция трансформатора.

Схемы выпрямления на тиристорах обеспечивают работу в двух режимах — выпрямительном и инвертор-

Таблица 4-3

Расчетные соотношения для основных схем выпрямления

Схема	Закон регулирования напряжения: активная нагрузка, непрерывный режим	Закон регулирования напряжения: активная нагрузка, прерывистый режим	Закон регулирования напряжения: индуктивная нагрузка	Среднее значение выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$ $U_{d0}/U_{2ф}$	Максимальное значение обратного напряжения на вентилях $U_{обр.макс}/U_{d0}$	Значение коэффициентов тока вентиля: среднее $I_в/I_d$	Значение коэффициентов тока вентиля: действующее (линейное) $I_{в.д}/I_d$	Значение коэффициентов тока трансформатора: действующее (линейное) I_1/I_d	Значение коэффициентов тока трансформатора: действующее (линейное) I_2/I_d	Коэффициент типовой мощности трансформатора $S_т/P_{dн}$
Двухфазная нулевая (однофазная двухполупериодная)	$U_{d0}\frac{1+\cos\alpha}{2}$		$U_{d0}\cos\alpha$	0,9	3,14	0,5	0,707	1,0	0,707	1,34
Однофазная симметричная мостовая	$U_{d0}\frac{1+\cos\alpha}{2}$			0,9	1,57	0,5	0,707	1,0	1,0	1,11
Трехфазная нулевая	$U_{d0}\cos\alpha$ при $\alpha < \pi/6$	$\frac{U_{d0}}{\sqrt{3}}\left[1+\sin\left(\frac{\pi}{3}-\alpha\right)\right]$ при $\alpha > \pi/6$		1,17	2,09	0,33	0,58	0,82	0,58	1,345 1,46
Трехфазная симметричная мостовая	$U_{d0}\cos\alpha$ при $\alpha < \pi/3$	$U_{d0}\left[1+\sin\left(\frac{\pi}{6}-\alpha\right)\right]$ при $\alpha > \frac{\pi}{3}$		2,34	1,045	0,33	0,58	0,82	0,82	1,045
Шестифазная с уравнительным реактором				1,17	2,09	0,167	0,29	0,707	0,29	1,26

ном. При работе в инверторном режиме энергия из цепи нагрузки передается в питающую сеть, т. е. в противоположном направлении по сравнению с выпрямительным режимом, поэтому при инвертировании ток и э. д. с. обмотки трансформатора направлены встречно, а при выпрямлении — согласно. Источником тока в режиме инвертирования является э. д. с. нагрузки (машины постоянного тока, индуктивности), которая должна пре-

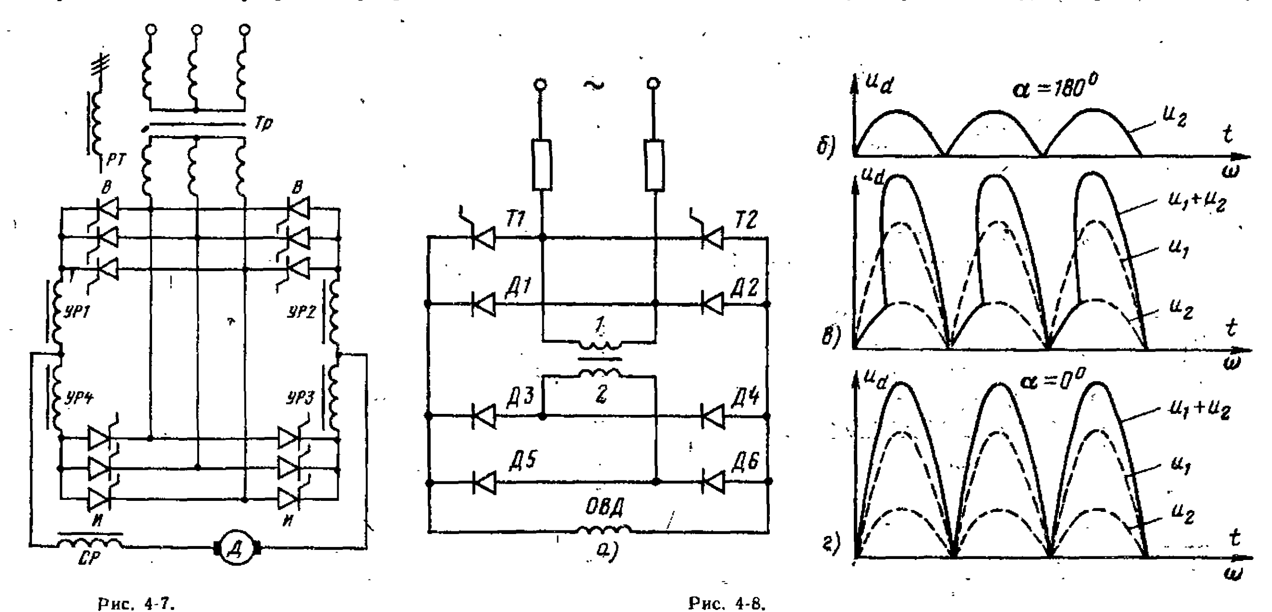


Рис. 4-7. Рис. 4-8.

Рис. 4-7. Встречно-параллельная схема включения вентильных групп.

УР1—УР4 — уравнительные реакторы; *РТ* — токоограничивающий реактор; *СР* — сглаживающий реактор.

Рис. 4-8. Схема нереверсивного *ТП* для цепей обмоток возбуждения двигателей.

вышать напряжение инвертора. Перевод ТП из выпрямительного режима в инверторный достигается изменением полярности э. д. с. нагрузки и увеличением угла α выше $\pi/2$ при индуктивной нагрузке.

Для обеспечения режима инвертирования необходимо, чтобы закрывающийся очередной тиристор успел восстановить свои запирающие свойства, пока на нем имеется отрицательное напряжение, т. е. в пределах угла ψ (рис. 4-6, *в*). Если это не произойдет, то закрывающийся тиристор может снова открыться, так как к нему прикладывается прямое напряжение. Это приведет к опрокидыванию инвертора, при котором возникнет аварийный ток, поскольку э. д. с. машины постоянного тока и трансформатора совпадут по направлению. Для исключения опрокидывания необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\beta-\gamma=\psi>\delta,$$

где δ — угол восстановления запирающих свойств тиристора; $\beta=\pi-\alpha$ — угол опережения инвертора.

Силовые схемы ТП, предназначенных для питания якорных цепей двигателей, выполняются как в нереверсивном (одна выпрямительная группа тиристоров), так и в реверсивном (две выпрямительные группы) исполнениях. Нереверсивные исполнения ТП, обеспечивающих одностороннюю проводимость, позволяют работать в двигательном и генераторном режимах только при одном направлении момента двигателя. Для изменения направления момента требуется или изменить направление тока якоря при неизменном направлении потока возбуждения, или изменить направление потока возбуждения при сохранении направления тока якоря.

Реверсивные ТП имеют несколько разновидностей схем силовой цепи. Наибольшее распространение получила схема с встречно-параллельным подключением к одной вторичной обмотке трансформатора двух вентильных групп (рис. 4-7). Такая схема может быть выполнена и без индивидуального трансформатора с питанием тиристорных групп от общей сети переменного тока через анодные токоограничивающие реакторы *РТ*. Переход на реакторный вариант значительно сокращает размеры ТП и снижает его стоимость.

Тиристорные преобразователи для цепей обмоток возбуждения двигателей выполняются в основном в нереверсивном исполнении. На рис. 4-8, *а* показана одна из применяемых схем включения выпрямительных элементов. Схема позволяет в широких пределах изменять ток возбуждения двигателя. Минимальное значение тока имеет место, когда тиристоры *Т1* и *Т2* закрыты, а максимальное, когда они открыты. На рис. 4-8, *б, г* показан характер изменения выпрямленного напряжения для этих двух состояний тиристоров, а на рис. 4-8, *в* для состояния, когда $0<\alpha<180°$.

б) Способы управления реверсивными тиристорными преобразователями

В реверсивных ТП применяются два основных способа управления вентильными группами — *совместный и раздельный*. В свою очередь совместное управление выполняется *согласованным* и *несогласованным*. При согласованном управлении отпирающие импульсы подаются на обе группы вентилей таким образом, чтобы средние значения выпрямленного напряжения у обеих групп были равны между собой. Это обеспечивается при условии $\alpha_В+\alpha_И=180°$, где $\alpha_В$ и $\alpha_И$ — углы регулирования выпрямительной и инверторной групп. При несогласованном управлении среднее значение напряжения инверторной группы превышает напряжение выпрямительной группы. Это достигается при условии, если $\alpha_В+\alpha_И>180°$.

Мгновенное значение напряжений групп при совместном управлении не равны друг другу во все моменты времени, вследствие чего в замкнутом контуре (или контурах), образуемых тиристорными группами и обмотками трансформатора, течет уравнительный ток, для ограничения которого в цепь ТП включаются уравнительные реакторы *УР1—УР4* (см. рис. 4-7). Реакторы включают в контур уравнительного тока по одному или по два на группу, причем их индуктивность выбирается такой, чтобы уравнительный ток не превышал 10% номинального тока нагрузки. При включении токоограничивающих реакторов по два на группу они выполняются насыщающимися при протекании тока нагрузки. Например, при работе группы *В* насыщаются реакторы *УР1* и *УР2*, а реакторы *УР3* и *УР4* остаются ненасыщенными и ограничивают уравнительный ток. Если реакторы включаются по одному на группу (*УР1* и *УР3*), то они выполняются ненасыщающимися при протекании тока нагрузки.

Преобразователи с несогласованным управлением имеют меньшие габариты реакторов, чем при согласованном управлении. Однако при несогласованном управлении снижается диапазон допустимых углов регулирования, что приводит к худшему использованию трансформатора и уменьшению коэффициента мощности установки. Одновременно нарушается линейность регулировочных и скоростных характеристик электропривода. Для полного исключения уравнительных токов используется раздельное управление вентильными группами.

Раздельное управление заключается в том, что управляющие импульсы подаются только на ту группу, которая в данный момент должна работать. На вентили неработающей группы управляющие импульсы не подаются. Для изменения режима работы ТП используется специальное переключающее устройство, которое при равенстве нулю тока ТП сначала снимает управляющие импульсы с ранее работающей группы, а затем после небольшой паузы (5—10 мс) подает управляющие импульсы на другую группу. При раздельном управлении нет необходимости включения уравнительных реакторов в цепи отдельных групп вентилей, возможно полное использование трансформатора, снижается вероятность опрокидывания инвертора вследствие уменьшения времени работы ТП в инверторном режиме, уменьшаются потери энергии и соответственно увеличивается к. п. д. электропривода из-за отсутствия уравнительных токов. Однако раздельное управление предъявляет высокие требования к надежности устройств для блокирования управляющих импульсов. Сбой в работе блокирующих устройств и появление управляющих импульсов на нерабочей группе тиристоров приводят к внутреннему короткому замыканию в ТП, так как уравнительный ток между группами в этом случае ограничен только реактансом обмоток трансформатора и достигает недопустимо большого значения.

В крановых электроприводах наибольшее распространение получили ТП с раздельным управлением.

в) Основные технические данные тиристорных преобразователей постоянного тока серий АТК и АТРК

Для крановых электроприводов изготавливаются ТП постоянного тока серии АТК (нереверсивное исполнение) и серии АТРК (реверсивное исполнение). Преобразователи этих серий обеспечивают пуск двигателей с ограничением пускового момента, регулирование частоты вращения двигателя изменением напряжения на якоре и тока возбуждения, реверс и электрическое торможение с отдачей энергии в сеть.

Таблица 4-4

Основные технические данные тиристорных преобразователей серий АТК и АТРК

Тип преобразователя	Номинальное выпрямленное напряжение, В	Номинальный выпрямленный ток при ПВ-100%, А	Максимальный ток, А	Диапазон регулирования выпрямленного напряжения, %	Номинальное выпрямленное напряжение возбуждения, В	Номинальный выпрямленный ток возбуждения, А	Диапазон регулирования напряжения возбудителя, В	К. п. д. не менее	cos φ не менее	Масса, кг	Габаритные размеры преобразователя, мм	Тип силового трансформатора
АТК100/230	230	100	200	0—100	115	10	25—165	0,85	0,81	900	2000×750×1700	ТСЗР-40/0,5 ТСЗР-63/0,5 ТСЗР-100/0,5 —
АТК100/460	460	100	200			10		0,87	0,83			
АТК160/230	230	160	320			10		0,86	0,83			
АТК160/460	460	160	320			25		0,87	0,84			
АТК250/230	230	250	500			10		0,91	0,84			
АТК250/460	460	250	500			25		0,94	0,85			
АТРК100/230	230	100	200	100—0—100	230	15	54—330	0,85	0,81	480	800×750×1700	ТСЗР-40/0,5 ТСЗР-63/0,5 ТСЗР-100/0,5
АТРК100/460	460	100	200					0,87	0,83	510		
АТРК160/230	230	160	320					0,86	0,83	480		
АТРК160/460	460	160	320					0,87	0,84	510		
АТРК250/230	230	250	500					0,91	0,84	520		
АТРК250/460	460	250	500					0,94	0,85	600		
АТРК500/230	230	500	1000					0,94	0,85	1000	2000×750×1700	ТСЗП-200/0,7 —
АТРК500/460	460	500	1000					0,95	0,87			

Основные технические данные ТП серий АТК и АТРК приведены в табл. 4-4.

Тиристорные преобразователи серий АТК и АТРК выполняются на выпрямленные токи 100, 160, 250 и 500 А (только АТРК) и напряжения 230 и 460 В. Питание ТП производится от сети переменного тока напряжением 380 В частотой 50 Гц через индивидуальные трансформаторы (при выпрямленном напряжении 230 В) или анодные токоограничивающие реакторы (при выпрямленном напряжении 460 В).

В ТП применены тиристоры типа ТЛ 250. Охлаждение тиристоров — естественное воздушное. Схема выпрямления — трехфазная. В зависимости от тока ТП используются несколько параллельно включенных тиристоров: один — на токи 100 и 160 А, два — на 250 А и четыре — на 500 А. Вентильный мост конструктивно собран из блоков с шестью тиристорами, которые включаются в схему через разъемы. Тиристорные группы в реверсивных ТП включены по встречно-параллельной схеме. Управление группами раздельное.

Тиристорные преобразователи всех исполнений имеют встроенный регулируемый источник возбуждения (РИВ). В РИВ предусмотрена возможность осуществления зависимого регулирования тока возбуждения двигателя от тока в его якорной цепи в сторону ослабления поля. Кроме того, РИВ позволяет усилить поле возбуждения примерно в 1,5 раза. Силовая схема РИВ состоит из двух однофазных выпрямительных мостов — рабочего и аварийного (см. схему на рис. 4-8, *а*). Аварийный мост выполнен на диодах и подключен через трансформатор к питающей сети; рабочий однофазный, несимметричный мост подсоединен непосредственно к сети. Аварийный мост обеспечивает минимальное напряжение (25 В в ТП серии АТК и 54 В в серии АТРК) на выходе возбудителя при исчезновении импульсов и запирании рабочего моста.

Функциональная схема реверсивного ТП серии АТРК показана на рис. 4-9. Аналогичное построение имеет функциональная схема и с нереверсивным ТП серии АТК. Управление тиристорами в ТП осуществляется многоканальной системой фазового управления *СФУ*, выполняемой по «вертикальному» принципу.

В реверсивных ТП имеется одна система фазового управления на две группы тиристоров. Для переключения выхода системы управления с одной тиристорной группы на другую предусматривается специальный коммутатор импульсов *К*. Сигналы на *СФУ* поступают от суммирующих магнитных усилителей *СМУР* и *СМУРВ*.

Задающее напряжение $U_з$ подается на обмотки управления магнитных усилителей в зависимости от положения командоаппарата и состояния логического переключающего устройства *ЛПУ* (только на *СМУР*). Для получения требуемых механических характеристик и необходимого характера изменения переходных процессов на входы усилителей *СМУР* могут быть поданы сигналы обратных связей по напряжению, току, скорости и другим параметрам. В частности, в рассматриваемой схеме предусмотрены обратная связь по напряжению ТП для получения необходимой жесткости механических характеристик и обратная связь по току (*БТО* — блок токовой отсечки) для ограничения моментов при пусках и торможениях. Предусмотрена также обратная связь по току якоря двигателя, воздействующая на вход *СМУРВ*, чем обеспечивается необходимый характер изменения потока возбуждения машины.

Суммирующий магнитный усилитель *СМУЛ* предназначен для управления логическим переключающим устройством *ЛПУ*, обеспечивающим переключение групп тиристоров или контактов реверсора в якорной цепи (в электроприводах с нереверсивным ТП) в бестоковую паузу. Суммирующий магнитный усилитель формирует двухполярный сигнал, пропорциональный разности задающего сигнала управления и сигнала обратной связи, который в свою очередь пропорционален напряжению, снимаемому непосредственно с двигателя:

$$\Delta U = U_з - U_{дв}.$$

Логическое переключающее устройство *ЛПУ* выполнено на базе триггера. Состояние этого устройства определяется его входным сигналом ΔU и сигналом, пропорциональным выпрямленному току ТП. Положительное значение ΔU переключает *ЛПУ* в положение, соответствующее работе одной группы тиристоров, отрицательное — другой группы.

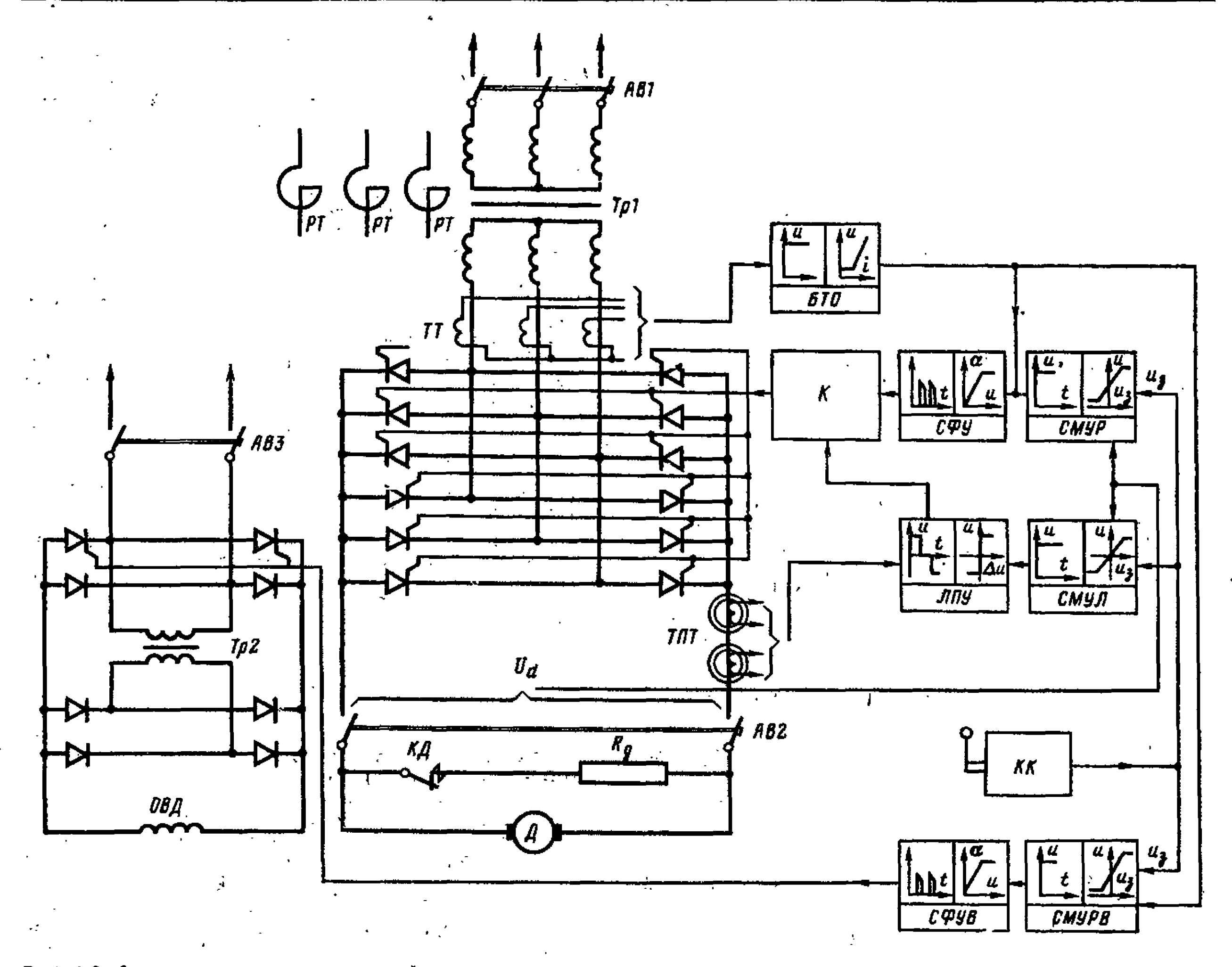


Рис. 4-9. Функциональная схема тиристорного электропривода.

Д — двигатель; *Тр1, Тр2* — трансформаторы; *РТ* — реакторы токоограничивающие; *АВ1—АВ3* — автоматические выключатели; *ОВД* — параллельная обмотка возбуждения двигателя; *ТПТ* — трансформатор постоянного тока; *ТТ* — трансформатор тока; *К* — полупроводниковый переключатель; *БТО* — блок токовой отсечки; *КК* — командоконтроллер; *СФУ, СФУВ* — системы фазового управления; *СМУР, СМУРВ, СМУЛ* — суммирующие магнитные усилители соответственно *ТП, РИВ* и *ЛПУ*; *ЛПУ* — логическое переключающее устройство; *КД* — контактор динамического торможения.

В нереверсивных *ТП ЛПУ* обеспечивает переключение реверсора, обусловливая тем самым работу ТП в выпрямительном или инверторном режиме. При исчезновении ΔU состояние *ЛПУ* не изменяется. Если ток ТП I_d не равен нулю, то *ЛПУ* находится в одном из двух состояний и переключение его невозможно даже при смене знака ΔU. Сигнал о наличии тока в цепи нагрузки ТП поступает в *ЛПУ* с датчика нулевого тока *ТПТ*, в качестве которого используется трансформатор постоянного тока.

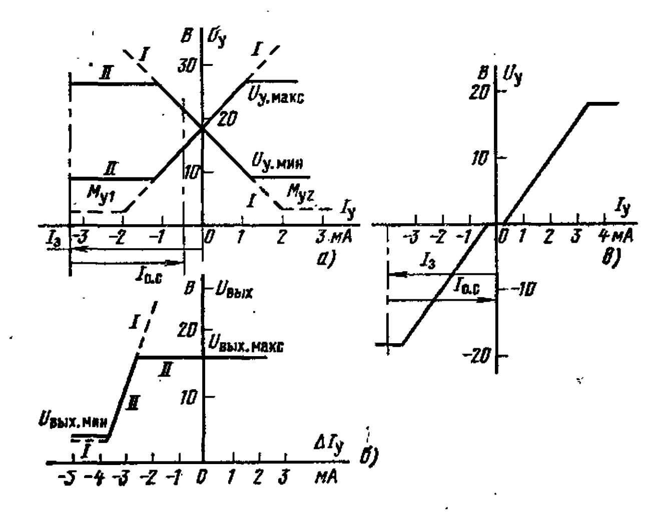
Система регулирования преобразователей серий *АТК* и *АТРК* выполнена с использованием высокочастотных суммирующих магнитных усилителей *СМУР, СМУРВ, СМУЛ*. Суммирующий магнитный усилитель регулирования *СМУР* (в реверсивных ТП) состоит из двух нереверсивных магнитных усилителей, работающих порознь и имеющих характеристики, приведенные на рис. 4-10, *а*. Сигналы с выходов магнитных усилителей подаются на ход *СФУ* поочередно, в зависимости от того, какая группа силовых тиристоров подключена к нагрузке. Суммирующие магнитные усилители *СМУРВ*, а также *СМУР* в нереверсивных ТП выполняются с одним нереверсивным магнитным усилителем. Регулировочная характеристика *СМУР* в этом случае аналогична характеристике одного усилителя (рис. 4-10, *а*).

Регулировочные характеристики *СМУРВ* показаны на рис. 4-10, *б*.

Суммирующий магнитный усилитель *СМУЛ* состоит из двух нереверсивных магнитных усилителей, включенных между собой по дифференциальной схеме, образуя один реверсивный магнитный усилитель. Регулировочные характеристики *СМУЛ* показаны на рис. 4-10, *в*.

На рис. 4-10, *а—в* $I_з$ и $I_{о.с.}$ — токи соответственно в задающей обмотке и обмотках обратной связи усилителей. Хотя *СМУЛ* и *СМУР* получают задающее напряжение и напряжение обратной связи от общих источников, настройка у них разная. Суммирующий магнитный усилитель настраивается таким образом, чтобы при установившейся скорости напряжение на выходе *СМУЛ* было равно нулю. В *СМУР* выходное напряжение зависит от задающего сигнала и сигнала обратной связи.

Для защиты от токов короткого замыкания в ТП предусмотрены автоматический выключатель — *АВ1* на входе и *АВ2* — в цепи нагрузки (см. рис. 4-9).



Тиристорные преобразователи серий АТК и АТРК выполнены в виде шкафа с односторонним обслуживанием. Степень защиты IP20. Силовая часть ТП и система управления имеют блочную конструкцию. Блоки системы управления расположены в выемных кассетах. В рабочих положениях блоки фиксируются стопорными винтами.

Приборы контроля выпрямленного напряжения и сигнализация расположены на двери шкафа.

Тиристорные преобразователи на 460 В комплектуются токоограничивающим реактором, который устанавливается внутри шкафа. Силовой трансформатор (только в исполнении на 230 В) устанавливается вне шкафа.

Преобразователи на 500 А в случае необходимости могут поставляться также с фильтровым реактором (на стороне нагрузки) типа ФРОС-500/0,5 Т, располагаемым вне шкафа.

Рис. 4-10. Регулировочные характеристики *СМУР* (*а*), *СМУРВ* (*б*), *СМУЛ* (*в*).

I — характеристики магнитных усилителей без введения ограничений; *II* — характеристики на выходе блока входного устройства.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ПРИВОДЫ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

5-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРМОЗОВ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

а) Классификация тормозных устройств

Крановый механизм должен иметь устройство для его остановки в заданном положении или ограничения пути торможения при выбеге после отключения приводного электродвигателя*. Такими устройствами являются тормоза, обеспечивающие остановку механизма крана за счет сил трения между вращающимся шкивом (или диском) и неподвижной тормозной поверхностью, связанной с механизмом.

Существует много разнообразных конструкций тормозных устройств с фрикционными элементами дискового типа (дисковые тормоза), коническими поверхностями торможения (конические тормоза) и с цилиндрическими поверхностями торможения, которые в свою очередь делятся на колодочные тормоза и ленточные тормоза.

Дисковая система торможения применяется в тех случаях, когда тормоз является частью приводного электродвигателя, при этом габарит тормоза определяется размерами электродвигателя. Такие тормоза могут эффективно работать при тормозных моментах от 30 до 1000 Н·м.

Конические тормозные устройства находят применение в специальных механизмах небольшой мощности при тормозных моментах до 50 Н·м.

Наибольшее распространение для большинства крановых механизмов находят колодочные тормоза. Эти тормоза используются для механизмов, где необходимые тормозные моменты могут достигать 15 000 Н·м.

Для тормозов, создающих тормозные моменты свыше 10 000 Н·м, применяются ленточные тормозные устройства.

* Исключение составляют механизмы передвижения кранов со скоростью движения не более 0,5 м/с.

Механические тормоза фрикционного действия могут иметь два конструктивных исполнения:

1) нормально разомкнутый тормоз, когда тормозные поверхности не соприкасаются между собой при отсутствии внешней силы и торможение происходит путем приложения внешней силы от привода тормоза;

2) нормально замкнутый тормоз, когда тормозные поверхности соприкасаются между собой с необходимым давлением при отсутствии внешней силы от привода за счет силы сжатия пружины или рычажно-грузового устройства. Освобождение такого тормоза происходит под действием его привода, преодолевающего действие пружин или груза.

Все перечисленные тормоза могут иметь привод, выполняющий работу, равную произведению силы, необходимой для создания тормозного эффекта, на путь перемещения поверхности трения, достаточный для выполнения гарантированной операции (торможения или растормаживания).

Тормоза на кранах могут быть с непосредственным воздействием оператора (ручные или ножные) и с механическим приводом.

В настоящее время в большинстве крановых тормозов с механическим приводом используются либо электромагниты, либо электрогидравлические толкатели и только мощные ленточные тормоза имеют гидравлические или моторные приводы.

Приводы тормозов могут иметь два исполнения: короткоходовой, у которого рабочий ход равен или близок к пути перемещения тормозных поверхностей, и длинноходовой, у которого рабочий ход в несколько раз больше пути перемещения тормозных поверхностей. Естественно, что усилия, развиваемые приводами короткоходовых тормозов, должны быть одного порядка с суммарным усилием, действующим на фрикционные поверхности, а усилие длинноходовых приводов может быть настолько меньше необходимого усилия торможе-

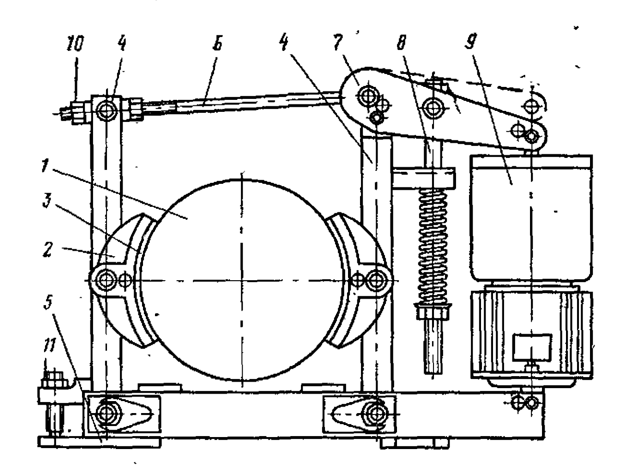


Рис. 5-1. Колодочный тормоз серии ТКТГ с длинноходовым приводом.

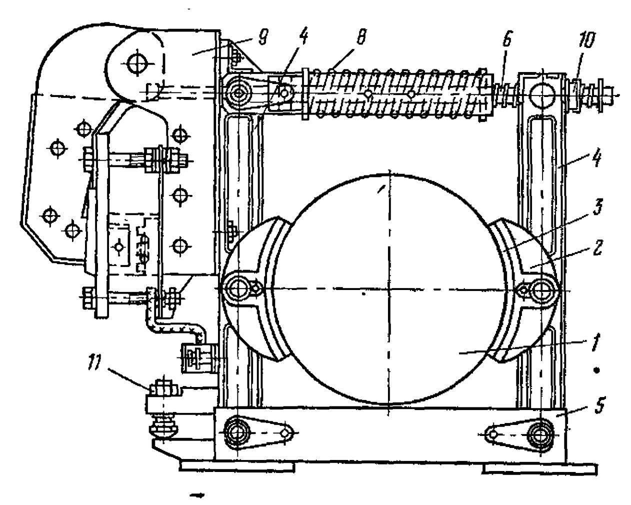


Рис. 5-2. Колодочный тормоз серии ТКТ с короткоходовым приводом.

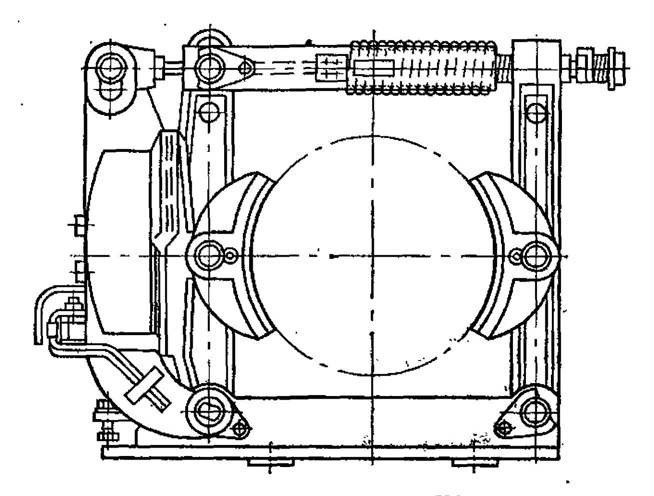


Рис. 5-3. Колодочный тормоз серии ТКП с короткоходовым приводом.

ния, насколько ход привода тормоза больше возникающего зазора между фрикционными поверхностями.

б) Конструкции тормозов

На рис. 5-1 представлен общий вид колодочного тормоза серии ТКТГ с длинноходовым приводом от гидротолкателя, а на рис. 5-2 — общий вид колодочного тормоза ТКТ с короткоходовым приводом от электромагнита переменного тока.

Основными узлами колодочных тормозов являются: *1* — стальной тормозной шкив, поверхность которого образует с чугунными колодками *2* фрикционную пару; колодки имеют приклепанные фрикционные обкладки *3* из асбобакелитовой ленты типа ЭМ1. Колодки шарнирно укреплены на рычагах *4*. В свою очередь рычаги шарнирно укреплены на подставке тормоза *5*. У тормоза с длинноходовым приводом (рис. 5-1) рычаги соединены между собой тягой *6* через верхний приводной рычаг *7*. Приводной рычаг под действием пружин *8*, поворачиваясь против часовой стрелки, при помощи тяги сдвигает рычаги, прижимая колодки к шкиву. Таким образом сжатые пружины передают на фрикционные поверхности необходимое усилие. Привод этого тормоза *9*, поворачивая верхний рычаг по часовой стрелке, разжимает колодки.

У короткоходовых тормозов (рис. 5-2) пружина *8* размещена между рычагами *4*. При этом один ее торец опирается на скобу, связанную с рычагом *4*, а другой торец — на гайку, навернутую на тягу *6*, проходящую внутри пружины. Сжатая пружина стягивает рычаги и прижимает колодки к шкиву, создавая необходимое усилие торможения. Привод тормоза *9*, воздействуя непосредственно на одну из тяг, разжимает рычаги.

Регулировка тормозного усилия осуществляется гайкой *10*. Равномерность отхода колодок регулируется болтом *11*. Эти тормоза широко применяются на различных крановых механизмах с диаметрами тормозных шкивов до 300 мм.

На рис. 5-3 показаны более крупные колодочные тормоза с короткоходовым приводом постоянного тока серии ТКП. Принцип их действия и конструкция аналогичны рассмотренным выше.

Иную конструкцию имеют дисковые тормоза, являющиеся частью конструкции приводного электродвигателя. В отличие от колодочных тормозов, конструкции которых в большинстве своем идентичны, дисковые тормоза имеют разнообразные конструктивные исполнения.

На рис. 5-4 представлен общий вид конструкции многодискового тормоза серии ТМТ, пристраиваемого к электродвигателям переменного тока. Тормоз снабжен прямоходовым приводом переменного тока, состоящим из шести электромагнитов, расположенных на едином магнитопроводе в виде тороида. Фрикционными поверхностями снабжены несколько дисков, укрепленных на шлицевой втулке вала двигателя, и соприкасающихся со стальными неподвижными дисками. Усилие торможения создается центральной пружиной, передающей усилие якорю электромагнита. Аналогичную конструкцию имеют дисковые тормоза постоянного тока серии ТДП. В зарубежной практике дисковые тормоза снабжаются одним вращающимся диском, что вводит определенные ограничения по обеспечению надежного торможения с любой скорости.

Все описанные выше тормоза относятся к системам нормального замкнутого типа.

Нормально разомкнутые тормоза используются в крановых механизмах, как правило, для регулирования тормозных усилий при замедлении, например, у меха-

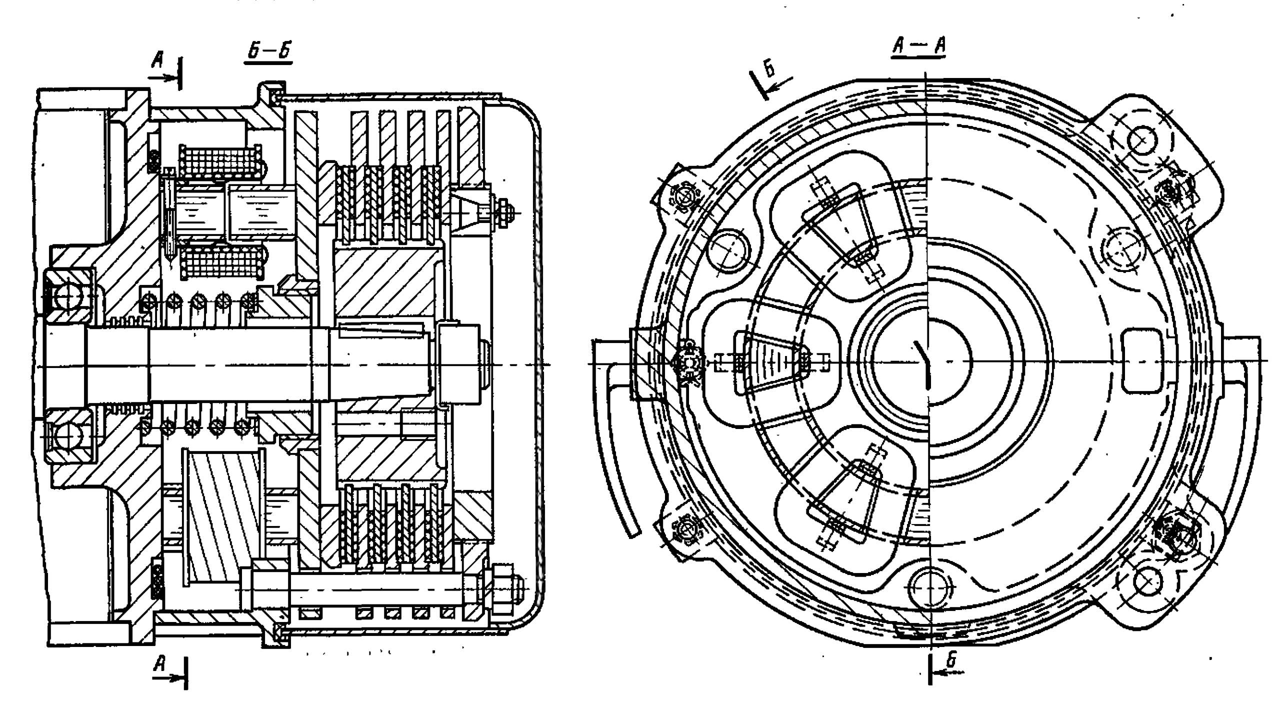


Рис. 5-4. Дисковый тормоз серии ТМТ.

низмов поворота портальных кранов, или создания на некоторое время определенного постоянного усилия, действующего против вращающего момента приводного электродвигателя. Такие тормоза в большинстве случаев имеют непосредственный привод от усилия рук или ног оператора. Их конструктивное исполнение мало отличается от конструкций колодочных тормозов. Электрические приводы к таким тормозам применяются довольно редко и пока не имеют типовых конструктивных решений.

в) Исходные параметры тормозов

В грузоподъемных машинах тормоз является важнейшим элементом, обеспечивающим безопасность эксплуатации, поэтому наиболее важные условия выбора, установки и функционирования тормозов регламентированы действующими правилами безопасной эксплуатации кранов, утвержденных Госгортехнадзором. В соответствии с этими правилами каждый подъемный механизм грузоподъемной машины должен снабжаться нормально замкнутым тормозом, расположенным на таком участке кинематической схемы, который имеет не разъемную под нагрузкой связь с выходным валом передаточного механизма. Подъемные механизмы, которые служат для перемещения жидкого металла или взрывоопасных грузов, должны иметь два нормально замкнутых независимых тормоза. При этом наличие в кинематической цепи двух тормозов обязательно для двухдвигательных механизмов при аварийном механическом отключении одного из двигателей.

Основным параметром тормоза является гарантированно развиваемый им тормозной момент. Тормозной момент тормоза определяется усилием на измерительном рычаге, при котором начинается проскальзывание шкива или дисков тормоза.

Согласно правилам Госгортехнадзора каждый из установленных на механизме механических тормозов должен удерживать груз, составляющий 125% номинального, при его остановке только с помощью этого тормоза. С учетом того, что коэффициент трения асбестовых материалов может меняться в зависимости от температуры поверхности до 30%, тормоз в холодном состоянии должен развивать тормозной момент, составляющий 150% номинального, т. е. коэффициент запаса тормозного момента должен быть не ниже 1,5 расчетного момента, который определяется формулой

$$M_{т.р}=\frac{94\,000 Q_н v_н \eta}{n_{н.т}}, \qquad (5\text{-}1)$$

где $M_{т.р}$ — расчетный момент тормоза, Н·м; $Q_н$ — номинальная грузоподъемность (т) у механизмов подъема или максимальное тяговое усилие в канате лебедки механизма стрелы; $v_н$ — номинальная скорость подъема или скорость каната лебедки стрелы, м/с; $n_{н.т}$ — номинальная частота вращения тормозного шкива, соответствующая скорости $v_н$, об/мин; η — к. п. д. механизма для номинальной нагрузки.

С учетом режимов работы механизмов различного назначения тормозные моменты тормозов должны быть равны:

$$M_т=k_{з.т} M_{т.р}, \qquad (5\text{-}2)$$

где $k_{з.т}$ — коэффициент запаса тормоза (табл. 5-1).

Тормозной момент тормозов, устанавливаемых на механизмах горизонтального перемещения, определяется исходя из условий обеспечения удержания механизма при наибольших возможных внешних статических нагрузках (ветре, уклоне и т. п.) с учетом заданного максимального выбега механизма при остановке и выражается следующим образом:

$$M_{т.р}=M_{с.макс}\eta^2+\frac{GD^2_{общ} v_н n_{н.т}}{76{,}5S}, \qquad (5\text{-}3)$$

Таблица 5-1

Коэффициенты запаса тормозов

Режим	Механизмы подъема		Механизм изменения вылета стрелы
	один тормоз	два тормоза	
Легкий Л	1,5	1,25	1,5
Средний С	1,75	1,25	1,5
Тяжелый Т	2,0	1,25	1,5
Весьма тяжелый ВТ и особо тяжелый ОТ	2,5	1,25	1,5

Примечания: 1. При двух тормозах на каждом приводе и двух приводах и более у механизма коэффициент запаса каждого тормоза должен быть не менее 1,1.

2. Если применяются два тормоза и более, то запас торможения устанавливается в предположении, что весь груз удерживается одним тормозом.

где $M_{с.макс}$ — максимальный момент статической нагрузки, действующий в направлении движения, Н·м; η — к. п. д. механизма; $GD^2_{общ}$ — суммарный маховой момент механизма с грузом, приведенный к валу тормоза, кг·м²; $v_н$ — номинальная скорость горизонтального перемещения, м/с; S — допустимый выбег после начала торможения, м.

Тормозной момент тормоза определяется по (5-2) при $k_{з.т}=1{,}25$.

Для предотвращения буксования механизмов, передвигающихся по рельсам, момент тормоза не должен превышать значения, определяемого выражением

$$M_{т.макс} < 15\,000\,\frac{n_к v_н G\eta}{n_н}, \quad (5\text{-}4)$$

где $n_к$ — отношение числа (тормозящихся) ведущих колес к общему числу колес опор; G — масса перемещаемого механизма (без груза), т.

С учетом (5-3) и (5-4) максимальный выбег от начала торможения механизма горизонтального перемещения с достаточной степенью точности может быть определен по формуле

$$S = \frac{5v_н^2}{20n_к\,\eta\,\dfrac{G}{G+Q} - 1}, \quad (5\text{-}5)$$

где Q — масса поднимаемого груза, т.

Исходя из (5-5) при заданных параметрах выбега S и скоростей перемещения механизма $v_н$, можно установить необходимое число ведущих колес, снабженных тормозами.

При применении нормально разомкнутых тормозов для механизмов горизонтального перемещения условия выбора тормозного момента аналогичны.

Важным параметром, определяющим работоспособность тормоза, является соответствие его режима работы фактической продолжительности включения. Привод нормально замкнутого тормоза в течение всего времени работы механизма должен быть включен. Таким образом, должно соблюдаться соответствие по времени включения и режиму работы между приводным электродвигателем и тормозом. Это относится к тем механизмам, у которых наложение тормоза происходит одновременно с отключением электродвигателя.

У ряда механизмов, имеющих свободный выбег после отключения электродвигателя, наложение тормоза должно происходить только при срабатывании защиты или по команде оператора-крановщика. Приводы таких тормозов должны быть рассчитаны на продолжительное включение. В табл. 5-2 приведены рекомендуемые значения продолжительности включения приводов тормозов для различных крановых механизмов.

Таблица 5-2

Рекомендуемые режимы работы приводов тормозов

Наименование	Продолжительность включения при режиме работы механизма, %				
	Л	С	Т	ВТ	ОТ
Механизмы подъема крюковых кранов	25*	40	40	60	100
Механизмы подъема грейферных кранов	—	—	60	100	100
Механизмы изменения вылета стрелы	25	25	40	40	—
Механизмы поворота портальных кранов	100	100	100	100	—
Механизмы поворота стреловых кранов, в том числе самоходных	25	25	40	—	—
Механизмы горизонтального передвижения мостовых и козловых кранов и перегружателей со свободным выбегом	100	100	100	100	—
Механизмы горизонтального перемещения кранов с точной остановкой	25*	40	40	40	—
Механизмы передвижения башенных и портальных кранов	25	25	25	—	—

* Привод должен допускать непрерывное включение в течение 30 мин.

Приводы тормозов переменного тока, гидротолкатели, а также приводы тормозов постоянного тока параллельного возбуждения при рекомендованных в табл. 5-2 продолжительностях включения должны обеспечивать тяговые усилия, достаточные для растормаживания при питающем напряжении не менее 85% номинального в установившемся тепловом режиме.

При применении приводов тормозов постоянного тока последовательного возбуждения необходимо учитывать, что растормаживание механизма должно происходить на первых рабочих положениях схем управления крановыми электроприводами, т. е. при токах, составляющих 40—60% номинального тока катушки тормоза при расчетном ПВ, поэтому при выборе приводов тормозов последовательного возбуждения необходимо определить номинальный ток катушки, используя данные табл. 5-2, а усилия привода тормоза установить с учетом минимального тока включения тормоза, составляющего 40—60% номинального тока катушки.

г) Выбор тормоза и его привода для кранового механизма

Как указано в п. «в», к нормально замкнутому тормозу кранового механизма предъявляется требование реализации необходимого тормозного момента при заданном режиме работы привода, поэтому при выборе тормозов к крановым механизмам прежде всего определяются необходимый тормозной момент и имеющиеся ограничения предельных значений этого момента.

Для электроприводов, получающих питание от сети постоянного тока, а также по системе Г—Д и от ТП постоянного тока, как правило, следует применять тормоза с короткоходовым приводом постоянного тока. Этот тип привода обеспечивает наименьшее время срабатывания (для систем постоянного тока), что является важным качественным показателем тормозного устройства. Короткоходовой привод постоянного тока имеет наилучшие показатели по износостойкости среди всех видов приводов тормозов и поэтому он должен иметь

предпочтение перед любыми другими видами приводов. Применение длинноходового привода постоянного тока, имеющего время срабатывания, доходящее до 2 с у крупных соленоидных электромагнитов, может быть допущено только для тихоходных механизмов со скоростями подъема до 0,2 м/с и скоростями горизонтального передвижения до 0,5 м/с, а также в качестве остановочных тормозов механизмов, не имеющих ограничения пути перемещения, например механизмов передвижения автокранов и т. п.

Для электроприводов, получающих питание от сетей переменного тока, имеются различные варианты применения приводов тормозов. При применении цепей управления на постоянном токе с питанием от общего выпрямителя предпочтительным является использование тормоза с короткоходовым приводом постоянного тока. Однако, необходимо иметь в виду, что время срабатывания тормозов с приводом постоянного тока составляет в среднем около 0,5 с, и это должно учитываться в общей схеме электропривода, так как при отключении электропривода подъема возможна просадка груза.

В наиболее распространенных электроприводах переменного тока могут быть применены тормоза с приводами переменного тока.

При диаметре тормозных шкивов 100 мм предпочтительным является короткоходовой привод с помощью электромагнита переменного тока. При диаметре шкива до 160—200 мм наряду с короткоходовым приводом от электромагнита может быть рекомендован длинноходовой привод от электрогидравлического толкателя. При диаметре шкива 300 мм и более обычно применяют электрогидравлические толкатели.

Короткоходовые электромагнитные приводы для тормозов со шкивом свыше 200 мм не обладают необходимой износостойкостью и в практике применения не находят.

Длинноходовые приводы тормозов с электромагнитами переменного тока находят применение на практике. Однако, учитывая их сравнительно невысокую износостойкость, использование таких приводов может быть рекомендовано лишь при небольшом числе торможений в час (не более 60 в час).

В табл. 5-3 приведены наиболее общие технические данные приводных механизмов тормозов, позволяющие оценить их эффективность для различных условий эксплуатации.

Типоразмер тормоза и привод к нему, выбранные по режиму работы, моменту и характеристикам привода, не требует дальнейших проверок при применении для крановых механизмов легкого и среднего режима работы при числе торможений в час не более 150. Это в равной степени относится и к дисковым тормозам, пристроенным к электродвигателям, при номинальной частоте вращения начала торможения 1000 об/мин.

Для механизмов тяжелого режима работы при числе торможений, превышающем 150 в час, и особенно для быстроходных механизмов, имеющих повышенные моменты инерции движущихся масс, а также для механизмов, у которых частота вращения начала торможения составляет 1500 об/мин и более, необходима дополнительная проверка теплового режима тормозных поверхностей.

Теплоотдача при торможениях осуществляется со всех поверхностей тормозного шкива и колодок, но при этом более интенсивный нагрев происходит в зоне тормозных колодок. По результатам экспериментов установлено, что при сложном характере нагрева в качестве расчетной теплоотдающей поверхности можно принять наружную поверхность тормозного шкива. Максимальная рабочая температура фрикционных поверхностей при торможении не должна превышать 150° С, так как при большей температуре резко падает коэффициент трения поверхностей. Этой температуре соответствует теплоотдача с поверхности периодически вращающегося шкива (около 0,3 Вт/см²).

При стабильной геометрии тормозных элементов допустимая мощность потерь на трение, Вт, которая может быть рассеяна колодочными тормозами при температуре $\tau \leqslant 150°$ С, можно определить по формуле

$$\Delta P_{\text{доп}} = 360D\,(10D + 1), \qquad (5\text{-}6)$$

где D — диаметр тормозного шкива, м.

В свою очередь, действительная мощность потерь при торможении, Вт, с помощью механических тормозов определяется формулой

$$\Delta P = \frac{0{,}38GD^2_{\text{общ}}\,n^2_{\text{н}}\,N_{\text{т}}}{2\cdot 10^6\,Д^2} \times \left(\frac{M_{\text{т}}}{M_{\text{т}} + M_{\text{с.макс}}} + \frac{M_{\text{т}}}{M_{\text{т}} - M_{\text{с.макс}}}\right), \qquad (5\text{-}7)$$

Таблица 5-3

Сравнительные данные приводных механизмов тормозов

Параметр	Системы приводов				
	Постоянный ток		Переменный ток		
	Короткоходовой привод	Длинноходовой привод	Короткоходовой привод	Длинноходовой привод	
	С прямоходовым электромагнитом	С соленоидным электромагнитом	С однофазным поворотным электромагнитом	С трехфазным прямоходовым электромагнитом	С электрогидравлическим толкателем
Диаметры шкивов колодочных тормозов, мм	100—800	100—600	100—200	300—600	100—800
Время включения (растормаживанив), с	0,3—1,0	1,5—3,0	До 0,05	0,1—0,5	0,4—1,5
Время отключения (затормаживания), с	0,2—0,5	0,5—1,0	До 0,02	0,06—0,2	0,3—1,2
Максимальное число включений в час	1200	600	600	300—120	700
Износостойкость (механическая), 10^6 циклов В—О	5	1	2	0,4—1,0	2; —5
Вероятность безотказной работы за 1 год эксплуатации (6000 часов работы)	0,99	0,97	0,95	0,95	0,85
Степень защиты от внешних воздействий	IP44	IP00; IP55	IP00	IP44	IP55
Удельная стоимость привода, руб/(Н·м)	0,8	2,0	0,3	1,0	1,0
Интервал температур окружающей среды, °С	—50 ÷ +50	—40 ÷ +45	—50 ÷ +50	—40 ÷ +45	—15 ÷ +50 —40 ÷ +15

где $GD^2_{общ}$ — суммарный маховой момент всех элементов системы, приведенный к валу тормоза, кг·м²; $n_н$ — номинальная частота вращения, об/мин; $N_т$ — число торможений в час при повторно-кратковременном режиме, равное для режима С — 150; для режима Т — 300; для режима ВТ — 300—600; для режима ОТ — 600—900 торможений в час; Д — диапазон регулирования системы электропривода, характеризующий, с какой средней частоты вращения начинается торможение; $М_т$ — номинальный момент тормоза, Н·м; $М_{с.макс}$ — наибольший момент статической нагрузки, Н·м.

Значение фактически рассеиваемой мощности, определенной по (5-7), должно быть ниже допустимой мощности, вычисленной согласно (5-6). При несоблюдении этого условия необходимо либо увеличить размер тормоза, либо снизить скорость начала торможения, т. е. обеспечить повышение диапазона регулирования. Приведенный выше тепловой расчет относится к открытым тормозам. Допустимая мощность закрытого тормоза может быть меньше приведенной на 25—50%.

При применении пристроенных к двигателю дисковых тормозов их тепловая проверка обязательна, так как теплоотдача дисковых тормозов (благодаря особенностям их конструкции) не превышает 0,2 Вт/см². Данные по допустимым значениям рассеиваемой мощности дисковых тормозов приведены в [55] и каталогах.

Пример. Выбрать тормоза для механизма передвижения тележки контейнерного перегружателя для следующих условий:

Режим работы	Т
Число включений в час	300
Число осей	2
Число ведущих осей	2
Число тормозов	2
Масса тележки	20 т
Масса груза	40 т
Скорость тележки	2 м/с
Коэффициент полезного действия передачи	0,88
Номинальная частота вращения шкива тормоза	1000 об/мин
Диапазон регулирования	5:1
Маховая масса, приведенная к валу шкива тормоза	50 кг·м2
Максимально допустимый выбег при срабатывании защиты	5 м

Питание приводного электродвигателя тележки осуществляется от ТП постоянного тока. Момент статической нагрузки, приведенный к валу каждого из тормозов (двигателей), 60 Н·м. Определяем расчетный тормозной момент по (5-3):

$$M_{т.р} = M_{с.макс}\,\eta^2 + \frac{GD^2_{общ}\,v_н\,n_н}{76,5S} =$$

$$= 60\cdot 0,88^2 + \frac{50\cdot 2\cdot 1000}{76,5\cdot 5} = 309,5 \text{ Н·м}.$$

По (5-2) определяем необходимый тормозной момент тормоза, полагая $k_{з.т} = 1,25$:

$$M_т = M_{т.р}\,k_{з.т} = 309\cdot 1,25 = 386 \text{ Н·м}.$$

Максимально допустимый момент сцепления с рельсами согласно (5-4) равен:

$$M_{т.макс} < 15\,000\,\frac{n_к\,v_н\,G\eta}{n_н} = \frac{15\,000\cdot 1\cdot 2\cdot 20\cdot 0,88}{1000} = 530 \text{ Н·м}.$$

Таким образом, момент должен находиться в пределах 386—530 Н·м.

Учитывая тяжелый режим работы и наличие цепи питания постоянного тока (тиристорный электропривод), выбираем тормоз типа ТКП 300 со шкивом $D = 0,300$ м, с короткоходовым приводом постоянного тока при режиме работы ПВ=40%. Тормоз может иметь тормозные моменты в диапазоне 300—500 Н·м. Осуществляем тепловую проверку выбранного тормоза.

Допустимая мощность рассеяния потерь торможения согласно (5-6) равна:

$$\Delta P_{доп} = 350\,(10D + 1)\,D = 350\,(3 + 1)\,0,3 = 420 \text{ Вт}.$$

При заданном диапазоне регулирования мощность потерь при торможении по (5-7) составит:

$$\Delta P = \frac{0,38GD^2_{общ}\,n_н^2\,N_т}{2\cdot 10^6\,Д^2}\left(\frac{M_т}{M_т + M_{с.макс}} + \frac{M_т}{M_т - M_{с.макс}}\right) =$$

$$= \frac{0,38\cdot 50\cdot 1000^2\cdot 300}{2\cdot 10^6\cdot 5^2}\left(\frac{386}{386+60} + \frac{386}{386-60}\right) = 467 \text{ Вт}.$$

В связи с имеющим место перегревом необходимо обеспечить либо повышение диапазона регулирования до 6 : 1, либо применить тормоз следующего размера — ТКП 400, но при этом минимальный тормозной момент будет близок к предельному моменту, обеспечивающему сцепление.

5-2. ТОРМОЗНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

а) Короткоходовые электромагниты для тормозов серии ТКП

Одним из наиболее надежных и универсальных приводов крановых тормозов являются короткоходовые электромагниты постоянного тока. Для тормозов с диаметром шкива 100, 200 и 300 мм применяются электромагниты серии МП, представляющие собой

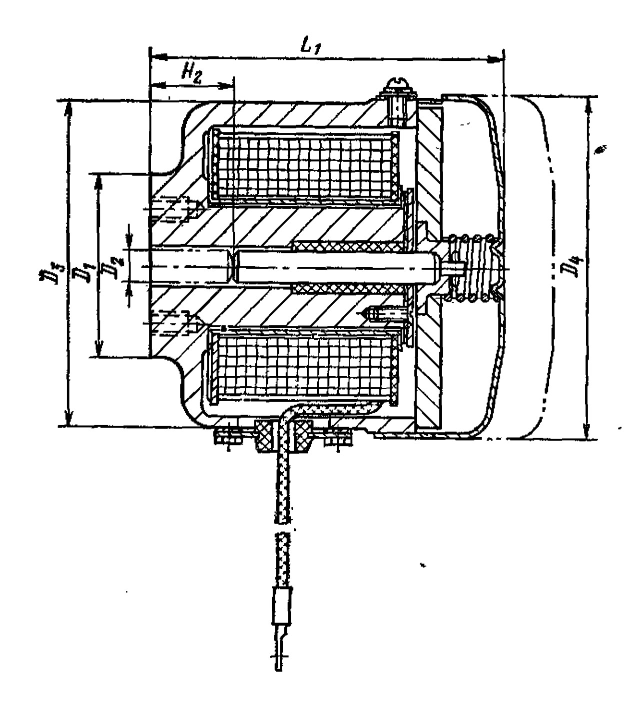


Рис. 5-5. Электромагниты серии МП.

Тип	Габаритные размеры, мм						Масса, кг
	D_1	D_2	D_3	D_4	H_2	L_1	
МП 101	70	14	126	132	32	135	9
МП 201	110	18	170	178	60	180	20
МП 301	140	24	214	223	90	220	36

Таблица 5-4

Технические данные тормозов серии ТКП с электромагнитами серии МП

Данные тормоза					Данные электромагнита						
						Параллельное возбуждение			Последовательное возбуждение		
Тип	Диаметр шкива, мм	Расчетный ход, мм	Максимальный ход, мм	Тормозной момент, Н·м	Тип	Режим работы, ПВ, %	Тяговое усилие, Н	Потребляемая мощность, Вт	Режим работы, ПВ, %	Тяговое усилие, при 60% $I_н$, Н	Тяговое усилие, при 40% $I_н$, Н
ТКП 100	100	1,2	3,0	20	МП 101	25	280	95	—	—	—
				16		40	230	65	—	—	—
				8		100	95	23	—	—	—
ТКП200/100	200	1,2	3,0	40	МП 101	25	280	95	—	—	—
				32		40	230	65	—	—	—
				16		100	95	23	—	—	—
ТКП 200	200	2,0	4,0	160	МП 201	25	960	180	25	900	—
				125		40	780	130	—	—	—
				100		—	—	—	40	600	—
				54		100	320	45	—	—	300
ТКП200/300	300	2,0	4,0	240	МП 201	25	960	180	25	900	—
				190		40	780	130	—	—	—
				145		—	—	—	40	600	—
				80		100	320	45	40	—	300
ТКП 300	300	2,5	4,5	500	МП 301	25	2000	285	25	2000	—
				340		—	—	—	25	—	1350
				420		40	1650	170	40	1650	—
				250		—	—	—	40	—	1050
				170		100	700	70	—	—	—

самостоятельную конструкцию с прямоходовым перемещением якоря до 4,5 мм.

Общий вид электромагнита серии МП показан на рис. 5-5. Для более крупных тормозов с диаметрами шкива от 400 до 800 мм магнитопровод электромагнита с поворотным якорем представляет собой часть механической конструкции тормоза. В магнитопровод вкладывается катушка, представляющая собой самостоятельное изделие в виде тороида, заформованного эпоксидным компаундом (рис. 5—6). Общий вид тормоза показан на рис. 5-3.

Электромагниты МП, а также электромагнитная часть тормозов ТКП имеют степень защиты от внешних воздействий IP44, кроме выводов, которые должны защищаться путем установки на тормозе соответствующей переходной коробки.

Технические данные тормозов серии ТКП с приводом от электромагнитов МП приведены в табл. 5-4, а технические данные тормозов ТКП 400—ТКП 800 и их электромагнитов приведены в табл. 5—5.

Габаритные размеры серийных тормозов ТКП и ТК показаны на рис. 5—7, 5—8.

Гарантированное растормаживание обеспечивается при 80% номинального напряжения и нагретой катушке для электромагнитов параллельного возбуждения и при токах 60 или 40% номинального тока катушки для электромагнитов последовательного возбуждения. Катушки электромагнитов параллельного возбуждения серии МП выпускаются на напряжение 110 или 220 В соответственно для режимов ПВ-25, 40 и 100%. Катушки тормозов ТКП имеют только одно исполнение: 110 В, ПВ-25%. Для других режимов и напряжений последовательно с катушкой должен включаться резистор.

Для ускорения срабатывания электромагнитов МП катушки их следует включать через добавочный резистор, применяя катушку 110 В для сети 220 и 440 В. Дальнейшее снижение времени срабатывания может быть достигнуто за счет форсировки, т. е. кратковременного включения электромагнита на двукратное напряжение. Ориентировочное время срабатывания электромагнитов МП и ТКП приведено в табл. 5-6. С целью снижения времени отпадания электромагниты не имеют разрядных резисторов, и их катушки рассчитаны на возникающие при отключении перенапряжения. Номинальные токи катушек электромагнитов МП и ТКП последовательного возбуждения приведены в табл. 5—7.

Если при использовании электромагнита последовательного возбуждения минимальный ток электропривода окажется меньше значения, указанного в табл. 5—7, то следует учесть, что при сниженном токе для обеспечения уверенного растормаживания необходимо снизить усилие пружины и тормозной момент пропорционально снижению тока по отношению к указанному в таблицах значению. При этом минималь-

ный ток электропривода должен соответствовать возможному снижению напряжения сети до 85% номинального.

Все типы электромагнитов МП и ТКП могут быть изготовлены в исполнении У2, Т2, ХЛ2.

Тормоза серии ТКП с короткоходовыми электромагнитами постоянного тока обладают наивысшей надежностью среди всех типов колодочных тормозов благодаря высокой надежности и износостойкости их электромагнитных приводов и достаточному запасу хода, компенсирующему износ колодок. При правильном выборе и хорошей профилактике может быть реально достигнут показатель надежности приводов тормозов 0,99 за год эксплуатации.

Износостойкость электромагнитов, равная $5 \cdot 10^6$ циклов В—О, несколько выше износостойкости остальных элементов конструкции тормоза, что также позволяет рассчитывать на высокую надежность конструкции в целом. Тормоза ТКП могут устанавливаться как в нормальном положении, т. е. с горизонтальной осью шкива, так и с вертикальной осью шкива.

В настоящее время ведутся работы по повышению износостойкости электромагнитов МП до $10 \cdot 10^6$ циклов В—О и улучшению корпусной изоляции катушек, что позволит довести срок службы электромагнитов без ремонта до выработки полного ресурса крановым механизмом.

Недостатками электромагнитов являются относительно высокое время срабатывания (в основном для крупных тормозов), необходимость иметь источник пи-

Таблица 5-5

Технические данные тормозов серий ТКП 400—ТКП 800

Данные тормоза					Данные электромагнитов					
					Параллельное возбуждение			Последовательное возбуждение		
Тип	Диаметр шкива, мм	Расчетный ход, мм	Максимальный ход, мм	Тормозной момент, Н·м	Режим работы, ПВ, %	Тяговое усилие, Н	Потребляемая мощность, Вт	Режим работы, ПВ,%	Тяговое усилие при 60% $I_н$, Н	Тяговое усилие при токе 40% $I_н$, Н
ТКП 400	400	1,5	3	1500	25	9600	850	25	9600	—
				1200	40	7800	600	40	7800	—
				550	100	3600	355	40	—	3700
ТКП 500	500	1,7	3,5	2500	25	12 900	960	25	12 900	—
				1900	40	9800	690	40	9800	—
				1000	—	—	—	40	—	5400
				850	100	4500	395	—	—	—
ТКП 600	600	2,0	4,0	5000	25	21 500	1260	25	21 500	—
				3550	40	15 200	890	40	15 200	—
				2050	—	—	—	40	—	12 000
				1550	100	6900	520	—	—	—
ТКП 700	700	2,2	4,5	8000	25	29 400	1770	25	29 400	—
				5750	40	21 100	1290	40	21 100	—
				3250	—	—	—	40	—	12 000
				2800	100	10 300	750	—	—	—
ТКП 800	800	2,5	5,0	12 500	25	40 300	2320	25	40 300	—
				9100	40	29 400	1680	40	29 400	—
				5050	—	—	—	40	—	16 200
				4400	100	14 100	965	—	—	—

Примечание. Потребляемая мощность относится к напряжению 110 В. Сопротивление катушек: ТКП 400—14,2 Ом, ТКП 500—12,6 Ом, ТКП 600—9,6 Ом, ТКП 700—6,8 Ом, ТКП 800—5,2 Ом.

Таблица 5-6

Время срабатывания электромагнитов серии МП и тормозов серии ТКП

Тип электромагнита и тормоза	Время включения, с			Время отпадания, с	
	без добавочного резистора	с добавочным резистором	с форсировкой	при питании от сети постоянного тока	при питании от выпрямителя
МП 101	0,25	0,15	0,1	0,1	0,2
МП 201	0,4	0,25	0,15	0,15	0,3
МП 301	0,5	0,35	0,25	0,25	0,5
ТКП 400	1,3	0,8	0,5	0,3	0,6
ТКП 500	1,8	1,3	0,6	0,3	0,6
ТКП 600	2,0	1,4	0,7	0,4	—
ТКП 700	2,3	1,5	0,9	0,5	—
ТКП 800	2,5	1,6	1,0	0,6	—

Таблица 5-7

Номинальные токи катушек последовательного возбуждения электромагнитов серии МП и тормозов серии ТКП

Тип электромагнита и тормоза	Номинальный ток, А		Тип электромагнита и тормоза	Номинальный ток, А	
	ПВ=25%	ПВ=40%		ПВ=25%	ПВ=40%
МП 201	13,0 20,0 32,0 50,0	10,3 15,8 25,3 39,5	ТКП 500	156 245 383	123 193 302
МП 301	41,5 52,0 65,0 81,5 97,5 119,0 163,0 194,5 226	32,8 41,0 51,4 64,4 77,0 94,0 129,0 153,5 179,0	ТКП 600	162 233 395 490 600	128 184 312 387 475
			ТКП 700	234 555 910 705	185 438 720 555
ТКП 400	75 108 149 179 208 268	59 85,5 118 141 164 212	ТКП 800	460 1050	363 830

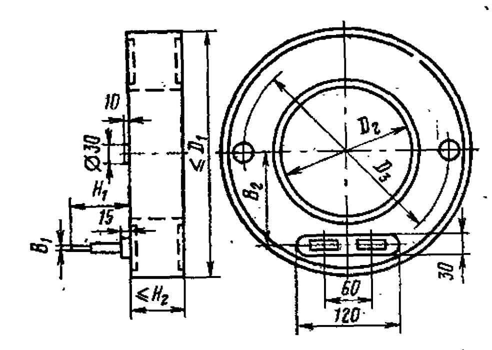


Рис. 5-6. Массогабаритные размеры катушек тормозов серии ТКП.

Тип тормоза	Габаритные размеры, мм							Масса, кг
	B_1	B_2	H_1	H_2	D_1	D_2	D_3	
ТКП 400	1,5	105	90	94	287	161	230	16
ТКП 500	1,5	125	95	86	366	186	300	27
ТКП 600	1,5	158	100	88	428	221	360	38,5
ТКП 700	1,5	188	110 / 140*	88	504	256	435	52
ТКП 800	1,5	220	125 / 155*	88	572	311	500	81

* Для катушек последовательного возбуждения.

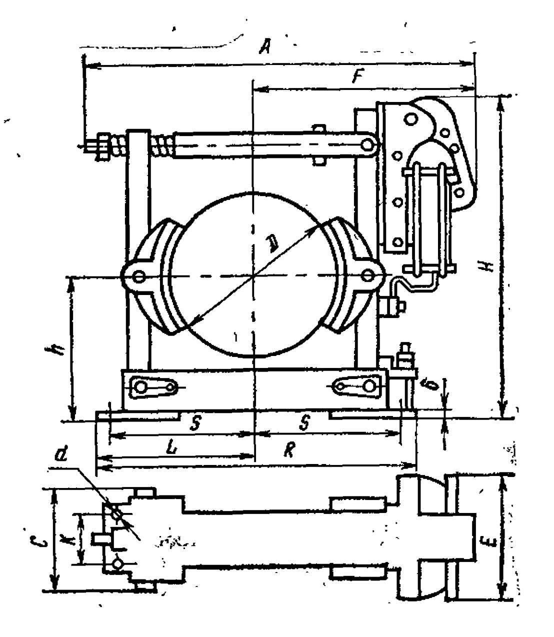


Рис. 5-7. Массогабаритные размеры тормозов серий ТКП и ТК с диаметром шкива до 300 мм.

Тип	Габаритные размеры, мм													Масса, кг
	A	H	F	R	E	S	K	L	δ	C	h	D	d	
ТКТ100 ТКП100	336 352	239 274	208 224	300	130 132	110	40	125	3	78	100	100	13	11,3 15,8
ТКТ200 ТКП200 ТКТ200/100 ТКП200/100	548 543 475 498	407 437 395 415	333 327 260 272	400	177 178 130 132	175	60	195	4	100	170	200	18	37,5 41,0 25,4 30,0
ТКТ300/200 ТКП300/200 ТКП300	675 670 715	577 565 605	395 400 435	560	178 177 223	250	80	275	5	150	240	300	22	78,5 75,0 94,5

тания постоянного тока и тяжелые условия коммутации цепей крупных тормозов. Поэтому для коммутации цепей тормозов ТКП 400—ТКП 800 целесообразно применять специальные контакторы с дугогасительными катушками, рассчитанными на токи 5—25 А, например контакторы КПД 111, КПД 121. Необходимо иметь также в виду, что в связи с возрастанием усилия электромагнита по мере движения якоря происходит удар якоря о магнитопровод при растормаживании тормоза.

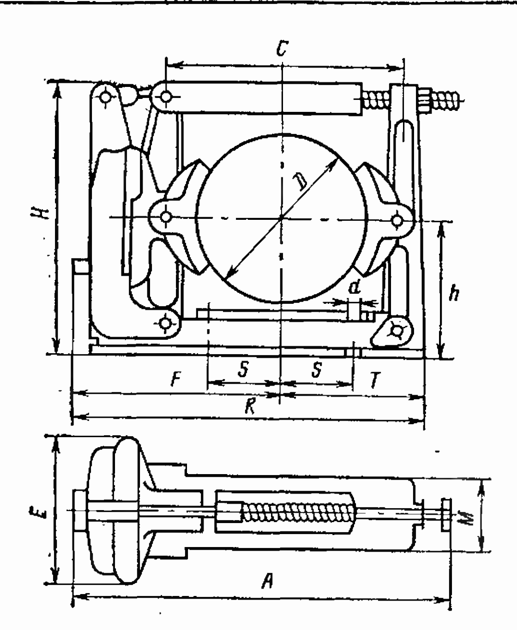


Рис. 5-8. Массогабаритные размеры тормозов ТКП с диаметром шкива свыше 300 мм.

Тип	Габаритные размеры, мм											Масса, кг
	A	C	E	F	H	M	R	S	T	h	d	
ТКП400	948	520	355	560	660	180	780	170	300	320	25	257
ТКП500	1107	640	450	649	823	200	915	205	375	400	25	379
ТКП600	1312	780	520	749	953	250	1090	250	450	475	38	670
ТКП700	1458	890	612	830	1108	290	1215	305	505	550	38	966
ТКП800	1628	1020	688	937	1255	330	1420	350	585	600	38	1355

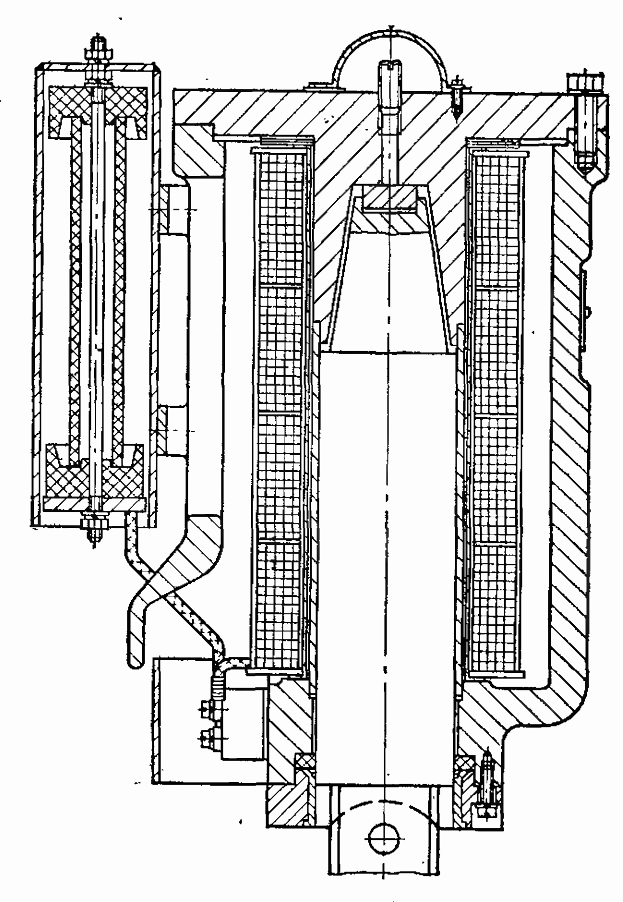


Рис. 5-9. Электромагнит серии КМП.

б) Длинноходовые тормозные электромагниты постоянного тока

Длинноходовые тормозные электромагниты постоянного тока имеют тяговую характеристику с практически постоянным усилием в течение всего времени хода якоря, что позволяет осуществлять плавное растормаживание. Сравнительно медленный рабочий ход затормаживания, который к тому же может регулироваться в известных пределах, позволяет осуществлять плавное торможение с постепенным нарастанием тормозного момента. Такие условия могут быть использованы для особо ответственных крановых механизмов горизонтального передвижения с малыми скоростями движения.

В связи с развитием систем регулирования крановых электроприводов, обеспечивающих необходимую плавность разгона и торможения практически до полной остановки, постепенно изчезает необходимость в применении длинноходовых электромагнитов постоянного тока, поэтому совершенствование конструкций этих электромагнитов направлено в основном на унификацию узлов и уменьшение числа исполнений. В настоящее время изготовляются две серии длинноходовых электромагнитов постоянного тока соленоидного типа: электромагниты серий КМП со степенью защиты от внешних воздействий IP00 в исполнении У2 и электромагниты ВМ со степенью защиты от внешних воздействий IP55 в исполнениях У1, Т1, ХЛ1. На рис. 5-9 приведен общий вид электромагнита КМП.

Серия электромагнитов КМП включает в себя три габарита. Магнитопровод выполнен из литого корпуса, закрываемого крышкой. В корпус вставлена катушка; внутри катушки по направляющей латунной гильзе движется якорь. Пара якорь — крышка используется как воздушный демпфер для смягчения ударов при включении и для регулирования времени отключения. Якорь не имеет упора против движения вниз, и это движение ограничивается конструкцией тормоза. В корпусе у электромагнитов КМП прорезаны вентиляционные отверстия, а выводы от катушки расположены на открытом клеммнике.

В отличие от электромагнитов КМП у электромагнитов ВМ корпус полностью закрыт, а выводы располагаются в верхней части корпуса, закрытой второй крышкой. При отключении катушек электромагнитов имеют место значительные перенапряжения, поэтому электромагниты КМП и ВМ снабжены разрядными резисторами. У магнитов КМП они укреплены снаружи и закрыты легким кожухом. У магнитов ВМ разрядные резисторы расположены в верхней части корпуса там же, где и выводные зажимы. Электромагниты изготовляются для напряжения 110 и 220 В.

Технические данные электромагнитов КМП приведены в табл. 5-8, а габаритные размеры электромагнитов показаны на рис. 5-10. Износостойкость электромагнитов ВМ и КМП невысокая и составляет $1\cdot10^6$ циклов В—О при слабом демпфировании, но может быть повышение до $2\cdot10^6$ при усилении демпфирова-

Таблица 5-8

Технические данные электромагнитов серии КМП

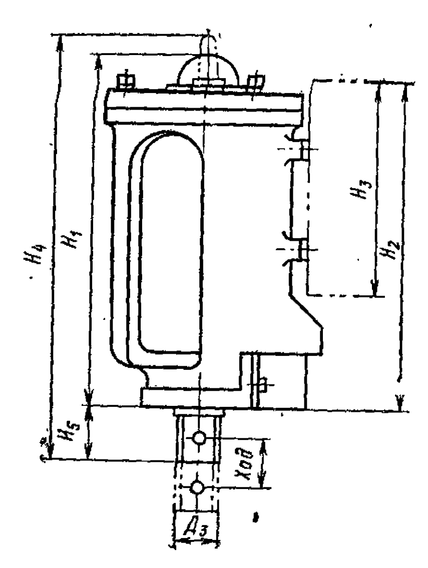
Данные тормоза			Данные электромагнита							
Диаметр шкива, мм	Максимальный ход привода колодок, мм	Тормозной момент, Н·м	Тип	Ход якоря, мм	Масса якоря, кг	Режим работы, ПВ, %	Тяговое усилие с учетом веса якоря, Н	Потребляемая мощность, Вт	Время втягивания, с	Время отпадания, с
200	3	160	КМП 2	40	1,5	25	115	300	0,4	0,1
		110				40	80	190		
		50				100	35	75		
400	4	1500	КМП 4	80	7	25	370	650	1,5	0,3
		1200				40	300	450		
		500				100	120	170		
600	4,5	5000	КМП 6	120	23,5	25	1000	1500	2,5	0,5
		3500				40	720	950		
		1600				100	330	375		

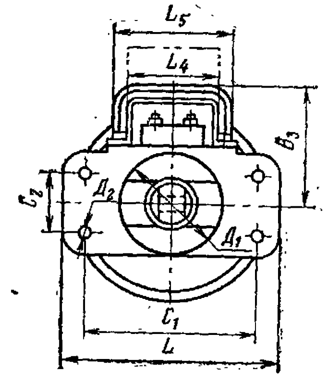
Рис. 5-10. Массогабаритные размеры электромагнитов КМП.

Тип	Габаритные размеры, мм							
	L_5	H_5	H_4	D_2	H_1	L	B_3	L_4
КМП 2	108	35	—	12	250	134	103	—
КМП 4	124	50	437	13	360	224	120	95
КМП 6	130	75	594	21	500	330	151	95

Продолжение

Тип	Габаритные размеры, мм						Масса, кг
	D_1	H_3	H_2	C_1	C_2	D_3	
КМП 2	—	—	—	104	—	34	15
КМП 4	110	220	341	180	60	50	45
КМП 6	170	220	400	260	90	70	150





ния и соответствующем увеличении времени срабатывания.

Выбирая длинноходовые электромагниты, следует учитывать, что при совпадении направления силы тяжести с направлением движения якоря суммарное усилие при растормаживании повышается соответственно массе якоря электромагнита.

в) Устройства питания электромагнитов постоянного тока

При питании электромагнитов постоянного тока непосредственно от сети постоянного тока их включение производится аппаратами управления электроприводом, а защита цепей электромагнитов производится общими предохранителями или автоматическими выключателями цепей управления. При применении фор-

сировки для снижения времени срабатывания время форсировки должно быть не более 0,3 с для электромагнитов МП, ВМ12 и ВМ13; 0,6 с — для катушек электромагнитов ТКП, ВМ14 и КМПЧ; 1;0 с для электромагнитов КМП 6 и ВМ 15.

В том случае, когда электромагниты постоянного тока типов МП 100—МП 300, ВМ 11—ВМ 13, КМП 2 используются для питания от сети переменного тока, могут быть применены типовые однополупериодные

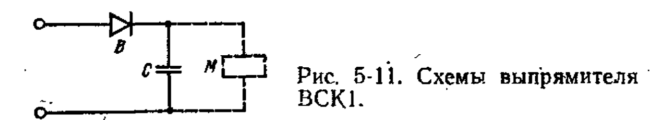


Рис. 5-11. Схемы выпрямителя ВСК1.

выпрямители типа ВСК 1, обеспечивающие выпрямленное напряжение 220 В постоянного тока при питании от сети 380 В переменного тока или выпрямленное напряжение 110 В при питании от сети переменного тока 220 В за счет включения параллельно катушке электромагнита конденсатора определенной емкости.

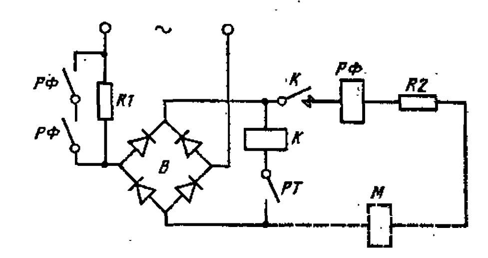


Рис. 5-12. Схема питания электромагнитов постоянного тока с форсировкой.

Схема выпрямителя ВСК 1 приведена на рис. 5-11. Кремниевый диод *В* рассчитан на ток до 3 А. Группа конденсаторов *С* типа МБГО 2-600 емкостью от 6 до 14 мкФ обеспечивает выходные параметры, соответствующие условиям питания электромагнитов.

Питание крупных тормозных электромагнитов типа ТКП 400—ТКП 800, ВМ 14, ВМ 15, КМП 4, КМП 6 может осуществляться либо от общего источника питания вспомогательных цепей постоянного тока, либо от сети переменного тока по схеме, приведенной на на рис. 5-12. В этой схеме *В* — двухполупериодный выпрямитель, собранный на кремниевых диодах В 2-25 6-го —7-го классов, контактор *К* типа КПД 111 с тяговой катушкой 220 В и дугогасительной катушкой 10 А и реле *РФ* типа РЭВ 816 с катушкой на ток 2,5; 5 или 10 А в зависимости от типа электромагнита.

Контакт *РТ* осуществляет управление процессом включения или отключения тормоза, действуя от схемы электропривода. Резисторы *R1* и *R2* рассчитываются для обеспечения необходимого режима нагрузки и форсировки. В частности, резистор *R1* по значению и мощности выбирается равным сопротивлению и мощности катушки электромагнита, а сопротивление резистора *R2* ограничивает ток при определенных режимах работы.

Типы и значения добавочных резисторов или ящиков резисторов, включаемых последовательно с катушками электромагнитов МП и ТКП при питании от сетей постоянного тока, приведены в табл. 5-9. При питании по схеме на рис. 5-12 в случае номинального напряжения на катушке 110 В сопротивление резистора *R1* выбирают по табл. 5-9, сопротивление, Ом, и мощность, Вт, резистора *R2* рассчитывают по формулам

$$R2 = \frac{94U_c}{\sqrt{P_x P_{25}}} - \frac{110^2}{P_{25}} - R1; \qquad (5\text{-}8)$$

$$P_{R2} = \frac{P_x P_{25}}{110^2} R2, \qquad (5\text{-}9)$$

где U_c — напряжение сети переменного тока; P_{25} — мощность катушки электромагнита при режиме работы ПВ=25%; P_x — мощность электромагнита в заданном режиме.

На основании многолетней практики установлено, что специальная защита цепей электромагнитов МП 100—МП 300 при питании от выпрямителей ВСК 1 не требуется. При питании крупных электромагнитов от выпрямительных устройств, в том числе по схеме на рис. 5-12, необходимо осуществлять защиту цепей электромагнита с помощью автоматического выключателя типа АК 63 на ток, составляющий не более 130% номинального тока электромагнита. При этом один из полюсов автоматического выключателя используется в цепи нулевой блокировки электропривода.

Ко времени издания справочника намечается освоение производства комплектного устройства для пита-

Таблица 5-9

Технические данные добавочных резисторов к электромагнитам и тормозам постоянного тока

Тип электромагнита и тормоза	Напряжение сети постоянного тока, В	Режим работы, ПВ, %	Добавочное сопротивление, Ом	Ток добавочного сопротивления, А	Тип ящика резисторов	Каталожный номер ящика резисторов
МП 101	220	100	600	0,35	ПЭВ 100-570*,	—
МП 201	220	100	300	0,7	ПЭВ 100-150*, 2шт.	—
МП 301	220	100	200	1,0	ПЭВ 100-65*, 3 шт.	—
ТКП 400	110	40	6	4,6	НФ 11А	2ТД.750.020-10
	110	100	20	3,0		2ТД.750.020-2
	220	25	20,7	6,0		2ТД.750.020-2
	220	40	30	4,6		2ТД.750.020-2
	220	100	60	3,0		2ТД.750.020-9
ТКП 500	110	40	5	5,0	НФ 11А	2ТД.750.020-10
	110	100	18	3,2		2ТД.750.020-2
	220	25	17,6	7,0		2ТД.750.020-2
	220	40	30	5,0		2ТД.750.020-2
	220	100	55	3,2		2ТД.750.020-2
ТКП 600	110	40	4	7,0	НФ 11А	2ТД.750.020-10
	110	100	14	4,5		2ТД.750.020-2
	220	25	13,6	9,0		2ТД.750.020-9
	220	40	20,2	7,0		2ТД.750.020-2
	220	100	40,5	4,5		2ТД.750.020-2
ТКП 700	110	40	2,55	10,0	НФ 11А	2ТД.750.020-10
	110	100	9,35	7,0		2ТД.750.020-2
	220	25	9,5	12,5		2ТД.750.020-10
	220	40	14,3	10,0		2ТД.750.020-9
	220	100	27,6	7,0		2ТД.750.020-2
ТКП 800	110	40	2,0	12,0	НФ 11А	2ТД.750.020-10
	110	100	7,35	8,0		2ТД.750.020-2
	220	25	8,0	15,0		2ТД.750.020-10
	220	40	12,2	12,0		2ТД.750.020-10
	220	100	24	8,0		2ТД.750.020-10

* Резисторы ПЭВ 100 рекомендуется устанавливать на асбоцементных панелях толщиной 15—20 мм.

ния от 3 до 8 электромагнитов постоянного тока одного крана по схеме на рис. 5-12, что позволит значительно поднять надежность устройств питания электромагнитов за счет более качественного и комплектного монтажа и эффективной защиты как самих тормозов, так и проводов, идущих по крану к этим устройствам.

5-3. ТОРМОЗНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

а) Короткоходовые тормозные электромагниты переменного тока

Одним из самых распространенных приводов крановых тормозов являются короткоходовые электромагниты переменного тока. Только в 1975 г. отечественными заводами изготовлено свыше 160 000 тормозных электромагнитов переменного тока, что составило около 65% объема производства всех типов тормозных приводов.

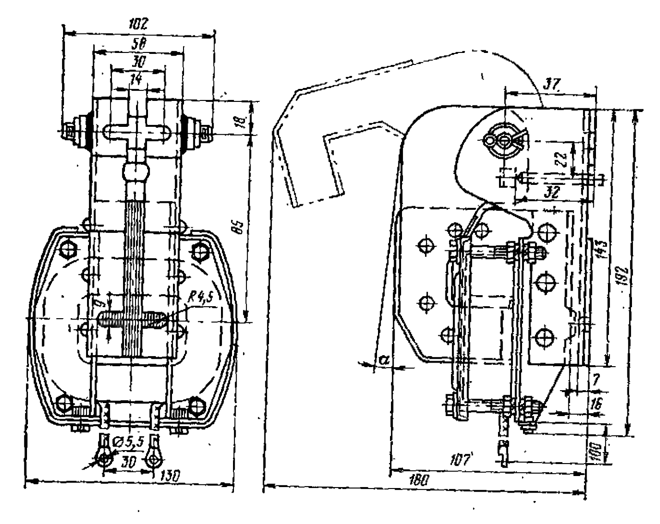


Рис. 5-13. Электромагниты МО 100.

В настоящее время промышленностью изготавливаются короткоходовые электромагниты с однофазным питанием переменного тока двух типов: МО 100 для тормозов со шкивами диаметром 100 и 200 мм в исполнении У2, Т2 и ХЛ2 и МО 200— для тормозов со шкивами диаметром 200 мм в исполнении У2, ХЛ2. Электромагниты имеют шихтованный магнитопровод из электротехнической стали и поворотный якорь, который при включении электромагнита нажимает на приводной шток тормоза, обеспечивая растормаживание.

Катушка электромагнита укреплена на неподвижной части магнитопровода. Катушка имеет пластмассовый каркас и намотана из алюминиевого эмалированного провода.

Общий вид и габариты электромагнитов МО 100 приведены на рис. 5—13. Электромагниты используют в качестве привода унифицированных тормозов ТК, габаритные размеры которых приведены на рис. 5-7. Тормоза могут устанавливаться как нормально, т. е. с горизонтальной осью шкива, так и с вертикальной осью шкива.

Технические данные тормозов ТК и их электромагнитных приводов приведены в табл. 5—10.

Из-за отсутствия демпфера при включении электромагнитов возникает сильный удар якоря о магнитопровод, передающийся на элементы крепления электромагнита и ось якоря. С увеличением размеров магнита усилия настолько возрастают, что не могут быть обеспечены надлежащая прочность и износостойкость магнита. Последнее обстоятельство ограничивает возможность применения короткоходовых электромагнитов переменного тока только для тормозов со шкивами до 200 мм.

Электромагнит МО 100Б является наиболее надежным из этой группы. Его износостойкость составляет до $2{,}5 \cdot 10^6$ циклов В—О. Электромагнит МО 200Б имеет несколько более низкую износостойкость — до

Таблица 5-10

Технические данные тормозов серии ТКТ с приводом от электромагнитов серии МО

Данные тормоза		Данные электромагнита								
Тип	Диаметр шкива, мм	Тормозной момент, Н·м	Тип электромагнита	Режим работы, ПВ=%	Кажущаяся мощность, В·А: в момент включения	Кажущаяся мощность, В·А: во включенном состоянии	Потребляемая мощность, Вт	Момент электромагнита, Н·м	Угол поворота якоря	Момент от веса якоря электромагнита, Н·м
ТКТ 100	100	20	МО 100Б	40	2000	400	140	5,5	7°30′	0,5
		11		100	1100	190	70	3,0		0,5
ТКТ 100/200	200	40	МО 100Б	40	2000	400	140	5,5	7°30′	0,5
		22		100	1100	190	70	3,0		0,5
ТКТ 200	200	160	МО 200Б	40	6800	1350	450	40	5°30′	3,6
		80		100	4000	650	225	20		3,6
ТКТ 200/300	300	240	МО 200Б	40	6800	1350	450	40	5°30′	3,6
		120		100	4000	650	225	20		3,6

Таблица 5-11

Технические данные электромагнитов серии КМТ

Данные тормоза		Данные электромагнита										
Диаметр, шкива, мм	Тормозной момент, Н·м	Тип	Тяговое усилие, Н	Масса якоря, кг	Максимальный ход, мм	Допустимое число включений в час	Время включения, с	Время отключения, с	Полная мощность, В·А: при включении	Полная мощность, В·А: во включенном состоянии	Потребляемая мощность, Вт	Износостойкость, 10^6 циклов В—О
300	450	КМТ 3А	350	12,5	50	400	0,1	0,15	22 500	700	120	1
400	1300	КМТ 4А	700	24	50	300	0,2	0,25	38 000	1900	400	0,8
500	2000	КМТ 6А	1150	46	60	250	0,3	0,4	85 000	3000	600	0,6
600	4000	КМТ 7А	1400	52	80	200	0,5	0,6	140 000	4400	750	0,4

$1,5\cdot10^6$ циклов. Электромагниты МО допускают в час до 600 включений, однако, учитывая их ограниченную износостойкость, применение этого вида привода следует ограничивать случаями, когда число включений не более 300 в час для электромагнитов МО 100Б и не более 150 в час для электромагнитов МО 200Б. При этих режимах работы и колебаниях напряжения сети, не выходящих за пределы 85—105% номинального, электромагниты имеют вероятность безотказной работы около 0,95 за один год эксплуатации. Собственное время включения электромагнитов около 0,03 с, время отпадания — 0,02 с, cos φ — около 0,35.

Катушки электромагнитов имеют исполнения на напряжение 220 и 380 В и частоту 50 Гц; при этом для каждого из напряжений имеются исполнения для режимов работы ПВ=40% и ПВ=100%. Для использования при напряжениях 440 В, 60 Гц или 380 В, 60 Гц необходимо применять специальные исполнения электромагнитов.

б) Длинноходовые тормозные электромагниты переменного тока

Длинноходовые электромагниты переменного тока в настоящее время изготавливаются в основном для комплектования механизмов, находящихся в эксплуатации, а также в механизмах с небольшим числом включений в час. Длинноходовые электромагниты применяются также в беспружинных тормозах с высокой степенью надежности торможения, например для крупных пассажирских лифтов, эскалаторов и т. п.

Длинноходовые электромагниты переменного тока имеют прямоходовую конструкцию магнитопровода с Ш-образным шихтованным магнитопроводом, на котором расположены три катушки, включенные в звезду или треугольник.

Электромагнит помещен в чугунный корпус. В нижней части корпуса размещен пневматический демпфер, обеспечивающий регулирование усилия демпфирования. Электромагниты этого типа представляют собой серию КМТ, состоящую из четырех типоразмеров. Общий вид электромагнита показан на рис. 5-14. Технические данные электромагнитов в сочетании с параметрами тормозов при питании от сети 50 Гц приведены в табл. 5-11. Габаритные размеры электромагнитов серии КМТ даны на рис. 5-15. Электромагниты изготавливаются в исполнениях У2 и Т2.

Пусковой ток электромагнита определяется по формуле

$$I = S_{п.эм}/U_c\sqrt{3},$$

где $S_{п.эм}$ — полная пусковая мощность, В·А; U_c — линейное напряжение сети, В.

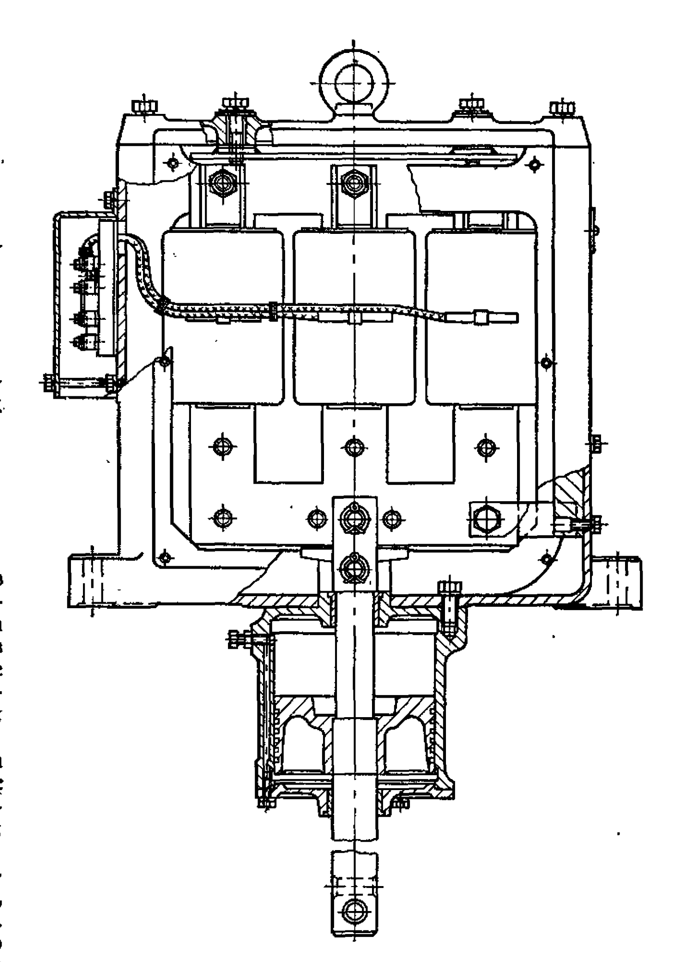


Рис. 5-14. Электромагнит серии КМТ.

Учитывая, что значение cos φ при включении электромагнита лежит в пределах 0,1—0,15, контактор для включения электромагнита необходимо выбирать с некоторым запасом, т. е. ток включения контактора должен быть в 2 раза больше пускового тока электромагнита. Например, для управления электромагнитом КМТ 7А необходим контактор с номинальным током 100 А.

Вероятность безотказной работы электромагнита при правильно отрегулированном демпфере составляет около 0,95 за год эксплуатации.

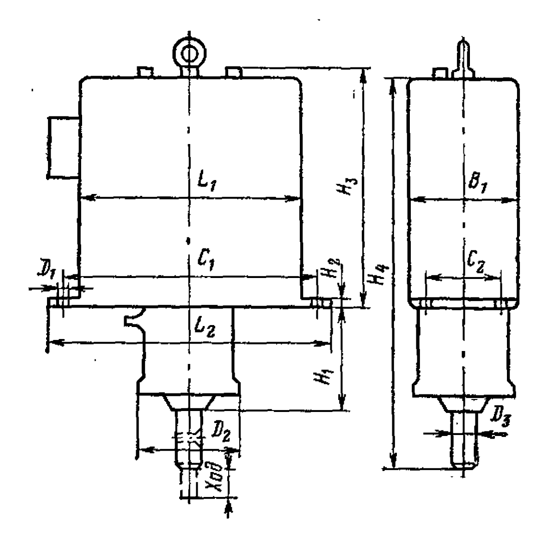


Рис. 5-15. Массогабаритные размеры электромагнитов КМТ.

Тип	Габаритные размеры, мм						
	B_1	C_1	C_2	D_1	D_2	D_3	H_1
КМТ 3А	150	346	100	14	140	30	140
КМТ 4А	180	450	130	17	170	40	178
КМТ 6	220	580	160	22	220	50	210
КМТ 7	220	580	160	22	220	50	230

Продолжение

Тип	Габаритные размеры, мм					Масса, кг
	H_2	H_3	H_4	L_1	L_2	
КМТ 3А	10	337	533	300	376	45
КМТ 4А	12	422	700	400	490	86
КМТ 6	50	482	835	520	640	183
КМТ 7	50	572	980	520	640	213

При использовании электромагнитов для сетей с частотой 60 Гц или при напряжениях 440, 415 В необходимо применение специальных исполнений катушек.

5-4. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТОЛКАТЕЛИ

Электромагниты переменного тока обладают рядом недостатков, главными из которых являются:

1) относительно малая износостойкость, достаточная лишь для тормозов малого размера;

2) сильные удары при включении, не полностью амортизируемые даже специальными демпфирующими устройствами;

3) значительные токи включения, в 7—30 раз превышающие значение номинального тока в замкнутом состоянии;

4) быстрый и трудно контролируемый выход из строя катушки при случайном заедании системы в разомкнутом состоянии.

В связи с этим уже много лет назад было начато широкое внедрение для привода крановых тормозов длинноходовых электрогидравлических толкателей.

Электрогидравлический толкатель представляет собой комплектное устройство (внутренняя полость которого залита маслом), включающее электродвигатель, центробежный насос и гидроцилиндр с поршнем. Последний обеспечивает поступательное движение штока с определенным усилием при вращении колеса насоса с помощью электродвигателя. Общий вид электрогидравлического толкателя приведен на рис. 5-16.

Изготавливаемые в настоящее время серийно одноштоковые электрогидравлические толкатели с тяговыми усилиями от 160 до 800 Н подобны друг другу и отличаются лишь отдельными конструктивными элементами. Как видно из рис. 5-16, в нижней половине электрогидравлического толкателя размещен асинхронный короткозамкнутый электродвигатель, на вал которого насажено колесо центробежного насоса. При вращении вала электродвигателя давление, развивающееся в наполненной маслом камере насоса, перемещает поршень со штоком вверх до тех пор, пока не откроются каналы в цилиндре и масло будет перетекать в нижнюю часть. Весь прибор герметизирован уплотнениями, а обмотка электродвигателя пропитана маслостойкими лаками. Более мощные двухштоковые электрогидравлические толкатели состоят из тех же основных элементов, существенным отличием их конструкции является верхнее расположение электродвигателя и вынужденное поэтому применение двух штоков.

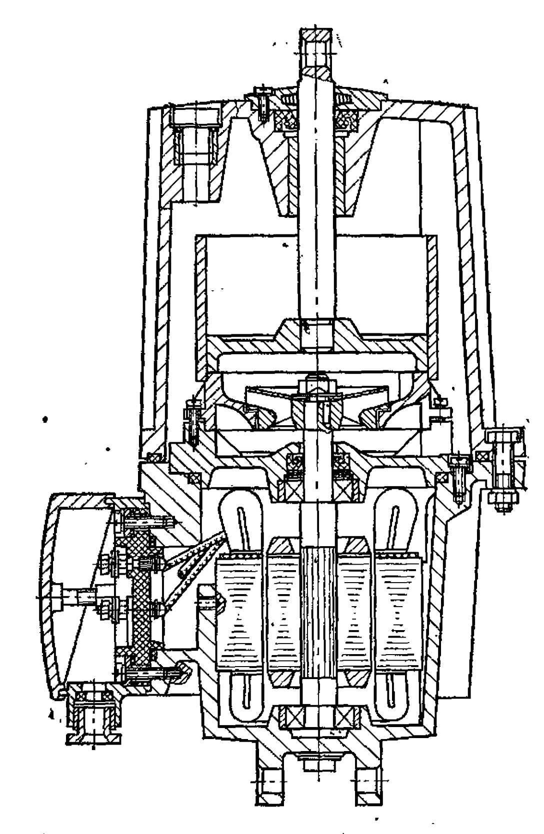


Рис. 5-16. Электрогидравлический толкатель.

Электродвигатели толкателей имеют обмотки на напряжение 220 или 380 В при частоте 50 Гц. Специальные исполнения толкателей изготавливаются для сетей с частотой 60 Гц и напряжением 440 или 415 В.

Таблица 5-12

Технические данные тормозов ТКТГ с приводом от электрогидравлических толкателей

Данные тормоза				Данные электрогидравлического толкателя								
Тип	Диаметр шкива, мм	Отход колодок, мм	Тормозной момент, Н·м	Тип	Усилие подъема, Н	Ход штока, мм	Время подъема штока, с	Время опускания штока, с	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток двигателя при 380 В, А	Объем рабочей жидкости, л
ТТ 160	160	1,2	100	ТЭГ 16—2М	160	25	0,35	0,28	0,11	2850	0,46	1,4
ТКТГ 200М	200	1,2	300	ТЭГ 25М	250	32	0,35	0,3	0,11	2850	0,46	1,8
ТКТГ 300М	300	1,5	800	ТГМ 50	500	50	0,5	0,37	0,2	2850	0,7	3,5
ТКТГ 400М	400	1,8	1500	ТГМ 80	800	50	0,55	0,37	0,2	2850	0,7	5,0
ТКТГ 500М	500	1,5	2500	ТГМ 80	800	50	0,6	0,4	0,2	2850	0,7	5,0
ТКТГ 600	600	1,8	5000	Т 160Б	1600	60	0,85	0,75	0,4	2800	1,3	7,5
ТКТГ 700	700	1,8	8000	Т 160Б	1600	90	1,05	0,95	0,4	2800	1,3	7,5
ТКТГ 800	800	1,5	12 500	Т 160Б	1600	140	1,5	1,2	0,4	2800	1,3	7,5

Электрогидравлические толкатели рассчитаны на продолжительное непрерывное включение и допускают при этом до 100 включений в час. При снижении ПВ до 60% толкатели допускают 700 включений в час.

Технические данные тормозов серии ТКТГ с приводом от электрогидравлических толкателей приведены в табл. 5-12. Габаритные размеры тормозов приведены на рис. 5-17. Тормоза могут устанавливаться только с горизонтальной осью шкива. Габаритные размеры электрогидравлических толкателей приведены на рис. 5-18. Общее максимальное время подъема и опускания штока толкателя приведено в табл. 5-12. При этом у одноштоковых толкателей около 0,1 с при подъеме затрачивается на разгон электродвигателя. Остальное время идет на движение штока. При опускании штока около 0,2 с идет на снижение давления при неподвижном штоке, а остальное время затрачивается на движение штока. Таким образом, при сокращении пути движения штока общее время подъема и опускания штока может быть снижено на время, пропорциональное изменению длины хода, но подготовительное время при этом сохраняется. Снижение противодействующего усилия на шток вдвое также сокращает вдвое время движения штока при сохранении подготовительного времени.

У двухштоковых толкателей Т 160Б постоянная составляющая времени подъема равна 0,2 с и постоянная составляющая времени опускания — 0,4 с. В остальном соотношения те же, что и для одноштоковых толкателей. Нормальное положение электрогидравлического толкателя — вертикальное штоком вверх. При этом допускается наклон при работе в любую сторону на 15—20°.

Важнейшим элементом обеспечения надежной работы электрогидравлических толкателей является применение масляного наполнения необходимой чистоты и соответствующего сорта. При отгрузке с завода-изготовителя толкатели заполняются трансформаторным маслом по ГОСТ 982-68, которое обеспечивает нормальную эксплуатацию при температурах окружающей среды от −15 до +50° С. Для эксплуатации толкателей при температурах от −40 до +15° С должно применяться масло АМГ-10 согласно ГОСТ 6794-75. Электрогидравлические толкатели не могут эксплуатироваться без периодической смены масла при категории размещения У2, они также непригодны для категории ХЛ2. Эксплуатация в категории Т2 допускается.

Износостойкость толкателей в основном определяется целостностью уплотнения и состоянием подшипников.

Срок службы электрогидравлических толкателей составляет 10 лет при числе циклов В — О около $4\cdot10^6$. Однако при этом требуются контроль и замена уплотнений, а также регулярный контроль чистоты масла и его объема.

Показатель надежности электрогидравлических толкателей колеблется в весьма широких пределах от 0,93

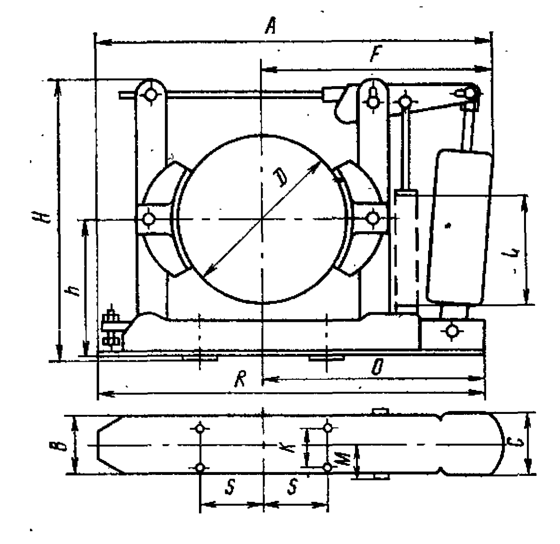
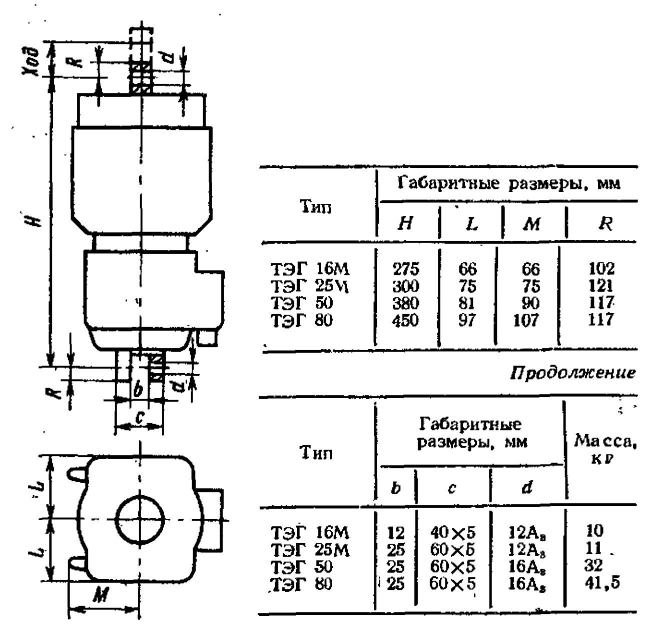


Рис. 5-17. Массогабаритные размеры тормозов серии ТКТГ.

Тип	Габаритные размеры, мм						
	A	B	C	D	F	H	h
ТКТГ 200	622	90	154	200	387	411	170
ТКТГ 300	771	140	227	300	486	526	240
ТКТГ 400	967	180	240	400	582	635	320
ТКТГ 500	1202	200	240	500	742	793	400
ТКТГ 600	1428	240	268	600	868	945	475
ТКТГ 700	1582	280	268	700	957	1083	550
ТКТГ 800	1837	320	268	800	1142	1216	600

Продолжение

Тип	Габаритные размеры, мм						Масса, кг
	K	L	M	O	R	S	
ТКТГ 200	180	158	56,5	380	615	175	49
ТКТГ 300	80			421	706	250	92
ТКТГ 400	90	212	101,5	575	960	170	178
ТКТГ 500	100	250	112,5	655	1115	205	248
ТКТГ 600	126	322	136,5	715	1300	260	435
ТКТГ 700	150	358	156,5	830	1456	305	605
ТКТГ 800	180	374	176,5	1015	1710	350	840



Тип	Габаритные размеры, мм			
	H	L	M	R
ТЭГ 16М	275	66	66	102
ТЭГ 25М	300	75	75	121
ТЭГ 50	380	81	90	117
ТЭГ 80	450	97	107	117

Продолжение

Тип	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	b	c	d	
ТЭГ 16М	12	40×5	12A_8	10
ТЭГ 25М	25	60×5	12A_8	11
ТЭГ 50	25	60×5	16A_8	32
ТЭГ 80	25	60×5	16A_8	41,5

Рис. 5-18. Массогабаритные размеры электрогидравлических толкателей.

при эксплуатации в категории У3 и постоянной положительной температуре и нормальной влажности до 0,85 за один год эксплуатации на открытом воздухе (в категории У2). Наиболее предпочтительными условиями эксплуатации электрогидравлических толкателей является категория У3 или Т3.

Поскольку основным рабочим элементом электрогидравлических толкателей является короткозамкнутый электродвигатель, то обеспечение его надежной работы может быть достигнуто только при надлежащей защите. Наиболее опасным для толкателя режимом является обрыв одной фазы, происшедший перед включением. При однофазном включении электродвигатель будет стоять под током, что в результате перегрева может привести к возгоранию масла, поэтому при применении толкателей каждый из них необходимо защищать либо автоматическими выключателями с мгновенной и тепловой защитой, либо защитой в двух фазах тепловыми реле, причем номинальный ток тепловой защиты должен быть не более 1,2 номинального тока электрогидравлического толкателя.

В настоящее время завершается модернизация электрогидравлических толкателей, которая снимет ограничения по смене масла в зависимости от сезона, а также значительно улучшит надежность уплотнений. Можно ожидать, что показатель надежности модернизированных электрогидравлических толкателей достигнет значений около 0,92 и тогда их применение для многих механизмов станет предпочтительным.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

АППАРАТУРА ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ. ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

6-1. АППАРАТУРА ЗАЩИТЫ

а) Общие условия защиты электрооборудования на кранах от аварийных ситуаций

По своему назначению, специфике работы и конструктивным особенностям грузоподъемные краны относятся к категории оборудования, имеющего повышенную опасность, что объясняется самим процессом работы этих механизмов на площадках и в помещениях, где одновременно находятся люди и ценное оборудование.

Общие требования по безопасности работы кранов и кранового электрооборудования сформулированы в первом разделе в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и «Правилами устройства электроустановок».

Все электрооборудование, располагаемое в кабинах управления кранами, снабжается заземленными металлическими кожухами или должно быть полностью закрыто от возможности прикосновения к токоведущим частям. В кабине управления также должен находиться аппарат, обеспечивающий непосредственное или дистанционное отключение всех питающих кабельных трасс, проведенных по крану, за исключением вводных устройств. Выход на площадки крана, где расположены не защищенное кожухами электрооборудование, токоподводы или троллеи тележки, может осуществляться только через двери и люки, имеющие блокировку, отключающую питание всех источников электроэнергии крана.

Участок главных троллеев, главные токоприемники и токовводы, остающиеся под напряжением при отключении всей внутрикрановой разводки, должны иметь надежное ограждение от случайного прикосновения к ним. Это ограждение должно иметь замок с индивидуальным ключом.

Ремонт и осмотр токовводов может осуществляться только при отключении питания главных троллеев или общего вводного устройства, расположенного вне крана. Если несколько кранов питаются от общецеховых троллеев, то предусматривается ремонтный участок, где может быть осуществлено отключение троллеев без перерыва питания остальных кранов.

Краны являются движущимися установками и подвержены вибрациям и ударам в процессе движения, поэтому возможность повреждения кабелей и проводов на кранах относительно выше, чем при их стационарной прокладке. Кроме того, на ряде кранов токопереход на движущиеся части осуществляется с помощью гибких шланговых кабелей, повреждение которых полностью исключить невозможно. С учетом этого первой задачей защиты является защита электрооборудования на кранах от токов к. з. (см. § 1-3).

Токи к. з. в отдельных цепях в пределах крана будут тем меньше, чем меньше сечения монтажных проводов этих цепей и меньше размеры различных токопереходов и токоразъемов. Максимальные токи к. з. в цепях управления при сечении проводов 2,5 мм² составляют 1200—2500 А. При этом для защиты цепей возможно применение предохранителей серии ПР на токи 6—20 А или любых видов автоматических выключателей АП 50, АК 63, АСТ 25 и т. п. Токи к. з., А, в цепях электродвигателей ориентировочно можно определить по формуле

$$I_{к.з.д} = I_{к.з.ф} \sqrt{s_п}/14, \qquad (6\text{-}1)$$

где $I_{к.з.ф}$ — ток короткого замыкания в фазе питающей линии через 0,04 с; $s_п$ — сечение провода в рассматриваемой цепи, мм².

Так как ток к. з. не должен до его отключения разрушать коммутационный аппарат, находящийся в данной цепи, то необходимо при выборе аппаратов и сечений проводов соблюдать определенные соотношения, обеспечивающие термическую стойкость аппарата. Полагая, что термическая стойкость большинства аппаратов, применяемых в крановом электроприводе, составляет $10 I_н$ в течение 1 с, то соотношение между максимальным допустимым сечением провода, мм², и номинальным током аппарата должно быть следующим:

$$\Delta = 4 \left(\frac{200 I_н}{I_{к.з.ф}} \right)^2 \lg \frac{I_{к.з.ф}}{1000},$$

где $I_н$ — номинальный ток аппарата, А.

Последнее соотношение показывает, что при возможных токах к. з. на фидере более 8000 А аппараты на 25 А устанавливать недопустимо по термической стойкости. Аппараты на токи 63 А могут использоваться только при сечениях кабеля не более 6 мм², а аппараты на ток 100 А — при сечениях кабеля не более 16 мм².

При возможных токах к. з. 12 000 А (предельных для кранов) аппараты на токи 63 А могут использоваться только при сечениях кабеля не более 4 мм², т. е. при номинальных токах до 30 А. Аппараты на ток 100 А могут использоваться при сечениях кабеля не более 10 мм², т. е. при номинальных токах до 60 А. Таким образом, для кранов, получающих питание от фидеров особо большой мощности, необходимо либо устанавливать аппараты на токи не ниже 100—160 А, либо ограничивать сечения проводов к этим аппаратам с целью снижения возможных токов к. з.

Защита кабельной сети крана от токов к. з. осуществляется с помощью реле максимального тока мгновенного действия, а при необходимости может осуществляться установочными автоматами.

Защита проводов от токов к. з. осложняется большим интервалом мощностей электродвигателей механизмов в пределах одного крана. В соответствии с правилами устройства электроустановок защитные аппараты должны быть рассчитаны на ток срабатывания не выше 450% продолжительного тока защищаемой цепи. Этими же правилами для проводов и кабелей, работающих с повторно-кратковременной нагрузкой, допустимый по нагреву ток определяется выражением

$$I_{ПВ} = I_н \frac{0,875}{\sqrt{ПВ/100}}, \qquad (6\text{-}2)$$

где $I_{ПВ}$, $I_н$ — номинальные токи кабеля в повторно-кратковременном и продолжительном режимах работы.

При ПВ=40% $I_{ПВ} = 1,4\ I_н$. Таким образом, кратность уставки защиты к допустимому току провода (кабеля) должна быть не выше 450/1,4=320% тока в режиме 40% ПВ. Допускаемые нагрузки на провода и кабели в пределах крана при температуре окружающей среды 45° С приведены в табл. 6-1.

Крановые электроприводы имеют следующие основные типы защитных устройств:

максимальную защиту для отключения электропривода от сети при возникновении в защищаемой цепи недопустимых токов;

нулевую защиту для отключения электропривода при прекращении или перерыве подачи питания от источника электроэнергии. Разновидностью нулевой защиты является нулевая блокировка, исключающая самозапуск электродвигателя при восстановлении питания на подводящей линии, если орган управления находится в рабочем положении;

Таблица 6-1

Допустимые нагрузки на провода и кабели с резиновой изоляцией при 45° С

Сечение кабеля (провода), мм²	Ток продолжительного режима, А		Ток режима, ПВ=40%		Расчетный ток мгновенной защиты, А	Номинальный ток расцепителя автомата А 3700, А	Ток уставки мгновенной защиты, А
	одножильного кабеля (провода)	трехжильного кабеля (провода)	одножильного кабеля (провода)	трехжильного кабеля (провода)			
1,5	14	14	19	19	63	20	60
2,5	19	19	26	26	85	25	75
4	24	24	33	33	108	32	96
6	31	31	43	43	140	40	120
10	50	50	69	68	190	63	190
16	66	60	95	76	240	80	240
25	89	70	120	100	315	100	300
35	115	86	168	120	390	125	375
50	148	107	205	150	485	160	480
70	183	120	250	168	540	200	600
95	218	151	300	210	675	200	600
120	254	178	350	250	800	250	750
150	294	210	410	300	940	320	960
185	334	244	460	340	1100	400	1200
240	396	290	550	410	1300	400	1200

конечную защиту для предотвращения перемещения движущихся конструкций сверх определенных допустимых границ.

Важной задачей системы защиты является предотвращение у всех типов электроприводов крановых механизмов недопустимых перегрузок, связанных с неисправностью схем управления, заклиниванием механизмов, обрывом цепи тормоза и т. п. В этом отличие требований к защите от перегрузок крановых электроприводов от защиты от перегрузок для электроприводов продолжительных режимов. В связи с неопределенностью нагрузки крановых механизмов, меняющимися темпами нагрева двигателей, их работой в условиях частых пусков и торможений не представляется возможным даже ставить задачу защиты электроприводов от тепловых перегрузок. Единственным условием предотвращения тепловых перегрузок кранового электрооборудования является его правильный выбор с учетом заранее рассчитанных любых возможных в эксплуатации режимов работы. Таким образом, защита от перегрузок сводится к контролю пускового тока при ступенчатом пуске и защите от заклинивания короткозамкнутых двигателей или электроприводов с токовой отсечкой. При правильно организованном пуске электропривода со ступенчатым разгоном пусковой ток не должен превышать 220—240% тока, соответствующего расчетному значению.

С учетом необходимого запаса на разброс как пускового тока, так и уставки максимального реле последняя должна быть рассчитана на срабатывание при токе около 250% расчетного, который может быть равен или меньше тока электродвигателя в режиме ПВ=40%.

Согласно изложенному на реле максимального тока в системе крановых электроприводов возлагается две функции: защита от токов к. з. проводов (кабелей) в каждом полюсе на постоянном токе и в каждой фазе на переменном токе, а также защита от перегрузок, для обеспечения которой достаточно включить реле в один из полюсов или одну из фаз.

В соответствии с правилами Госгортехнадзора электроприводы кранов должны иметь нулевую блокировку, т. е. при перерыве питания электропривод должен отключаться, а его повторное включение возможно только после возвращения органа управления в нулевое положение. Это требование не распространяется на си-

стемы кнопочного управления с пола, имеющие кнопки с самовозвратом.

Наличие нулевой блокировки исключает самозапуск электроприводов кранов, а также исключает повторное включение при срабатывании различных защит.

Защита от обрыва фазы на кранах не применяется. Анализ возможных последствий обрыва фазы вне крана и приемлемой системы защиты от обрыва фазы показал, что, с одной стороны, в настоящее время нет удовлетворительного технического решения по применению надежного, дешевого и простого аппарата контроля напряжения на фазах, а с другой стороны, обрыв фазы в пределах крана и вне его маловероятен в связи с тем, что применение плавких предохранителей в главной цепи в настоящее время не практикуется.

Новые системы динамического торможения, применяемые взамен торможения методом противовключения, сводят к минимуму опасность падения груза при обрыве фазы.

б) Реле защиты от перегрузок в крановом электроприводе

Для защиты цепей кранового электрооборудования от перегрузок применяется электромагнитное реле мгновенного действия типа РЭО 401. Эти реле могут использоваться как в цепях переменного, так и постоянного тока. Реле имеет два конструктивных исполнения. На рис. 6-1 показан общий вид реле РЭО 401.

Реле состоит из двух основных узлов: электромагнита *2* и размыкающего вспомогательного контакта *1*. Катушка электромагнита *3* расположена на трубке *4*, в которой свободно перемещается якорь *5*. Положение якоря в трубке регулируется по высоте и определяет значение тока срабатывания реле. При возрастании тока в катушке выше тока срабатывания якорь поднимается вверх и через толкатель контактного узла размыкает контакты. Во втором исполнении электромагниты реле в количестве от двух до четырех штук крепятся на общем основании, имеющем также общую скобу, передающую усилия любого отдельного якоря электромагнита к вспомогательному контакту, установленному на основании. Таким образом, в этом исполнении несколько электромагнитов воздействуют на один вспомогательный контакт. После отключения тока возврат якоря происходит под действием собственного веса. Реле имеет один размыкающий вспомогательный контакт. Вспомогательный контакт рассчитан на коммутацию переменного тока до

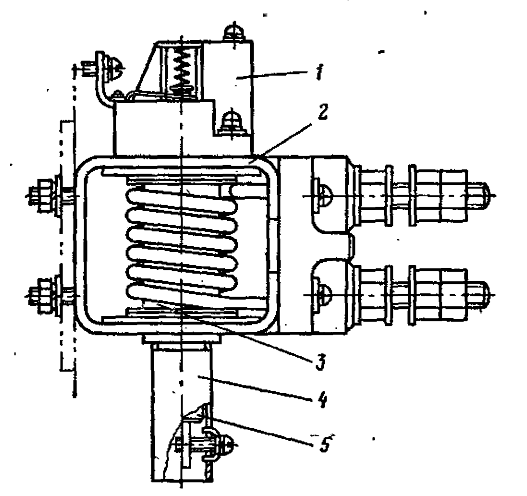


Рис. 6-1. Общий вид реле РЭО 401.

Таблица 6-2

Технические данные реле РЭО 401

Каталожный номер		Ток катушки, А		Пределы регулирования, А	Выводы катушки
Реле РЭО 401	Электромагнит РЭО 401	при ПВ=100%	при ПВ=40%		
2ТД.304.096-2	6ТД.237.004-1	320	480	420—1280	М12
2ТД.304.096-4	6ТД.237.004-2	250	375	325—1000	М12
2ТД.304.096-6	6ТД.237.004-3	160	240	210—640	М10
2ТД.304.096-8	6ТД.237.004-4	100	150	130—400	М8
2ТД.304.096-10	—	63	95	82—252	М8
2ТД.304.096-12	6ТД.237.004-6	40	60	52—160	М6
2ТД.304.096-14	6ТД.237.004-7	25	38	33—100	М6
2ТД.304.096-16	—	16	24	21—64	М6
2ТД.304.096-18	6ТД.237.004-9	10	15	13—40	М6
2ТД.304.096-20	6ТД.237.004-10	6	9	8—24	М6
2ТД.304.096-22	—	4	6	5,2—16	М6

10 А при напряжении 380 В и $\cos\varphi=0{,}4$ или на коммутацию постоянного тока 1 А при 220 В и $L/R=0{,}05$.

Технические данные реле серии РЭ 401 приведены в табл. 6-2. Катушки реле на токи свыше 40 А выполнены из неизолированной меди. Выводы этих катушек расположены на специальной изоляционной панели. Катушки на токи до 40 А — изолированные. При выборе реле для установки в комплектных устройствах следует руководствоваться допустимой нагрузкой катушки в режиме ПВ=40% и диапазоном срабатывания с учетом необходимых уставок отключения.

Реле РЭО 401 могут выполнять свои функции при условии, что пусковой ток электропривода меньше, чем ток заторможенного электродвигателя при включении его на номинальное напряжение, т. е. защита короткозамкнутых электродвигателей и электроприводов с отсечкой тока с помощью реле РЭО 401 невозможна. Защита таких электродвигателей должна выполняться с помощью тепловых температурно-токовых реле серии ТРТ. Реле ТРТ имеют пять габаритов в интервале токов от 1,75 до 550 А. Реле всех типов заключены в пластмассовый кожух и различаются формой реагирующего теплового элемента, наличием дополнительного нагревателя и размерами выводов. Реле пятого габарита смонтировано на трансформаторе тока. В качестве реагирующего теплового элемента реле используется биметалл инварсталь, обтекаемый током и дополнительно подогреваемый нагревателем. Реле имеет один размыкающий контакт, рассчитанный на коммутацию переменного тока 10 А, 380 В при $\cos\varphi=0{,}4$ и постоянного тока 0,5 А, 220 В при $L/R=0{,}05$ с.

Технические данные реле ТРТ приведены в табл. 6-3. Временные характеристики реле серии ТРТ показаны на рис. 6-2. Реле не срабатывает при токе 110% номинального в продолжительном режиме. При токе 135% номинального реле срабатывает за время 5—20 мин. При токе 600% номинального реле срабатывает за время от 3 до 15 с. Имеющийся на реле регулятор позволяет регулировать номинальный ток уставки в пределах ±15%. Возврат контактов реле во включенное состояние происходит через 1—3 мин после отключения тока. При выборе реле следует руководствоваться условиями: 1) среднеквадратичный ток защищаемой цепи должен быть не выше номинального тока нагревателя; 2) при трех пусках подряд реле не должно срабатывать; 3) время срабатывания при пусковом токе не должно быть выше допустимого времени стоянки электродвигателя под током в этом режиме.

При пользовании временной характеристикой срабатывания реле ТРТ следует учитывать, что возможные фактические отклонения тока срабатывания около ±20% тока уставки.

Таблица 6-3

Технические данные температурно-токовых реле ТРТ

Номинальный ток теплового элемента, А	Тип реле	Наименьшее сечение подводящего проводника, мм²	Номинальный ток теплового элемента, А	Тип реле	Наименьшее сечение подводящего проводника: провода, мм²	Наименьшее сечение подводящего проводника: шины, мм
1,75	ТРТ 111	1	56	ТРТ137	16	
2,5	ТРТ112	1	71	ТРТ138	25	
3,5	ТРТ113	1	90	ТРТ139	25	
5,0	ТРТ114	1	110	ТРТ141	35	
7,0	ТРТ115	1	140	ТРТ142	50	
9,0	ТРТ121	1	155	ТРТ151	70	20×2
11,5	ТРТ122	1,5	190	ТРТ152	95	20×2
14,5	ТРТ131	2,5	230	ТРТ153		20×2
18,0	ТРТ132	4,0	285	ТРТ154		30×3
22	ТРТ133	6,0	360	ТРТ155		30×4
28	ТРТ134	10,0	450	ТРТ156		45×4
35	ТРТ135	10,0	550	ТРТ157		45×4
45	ТРТ136	16,0				

Примечания: 1. Потребляемые мощности при протекании номинального тока:

Ток, А	Мощность, Вт
1,75—11,5	4—6
11—90	8—13
110—140	13—18
115—550	6

2. Размеры реле (высота×ширина×глубина)

Ток, А	Размеры, мм
1,75—90	120×30×100
110—140	160×36×100
>140	180×60×175

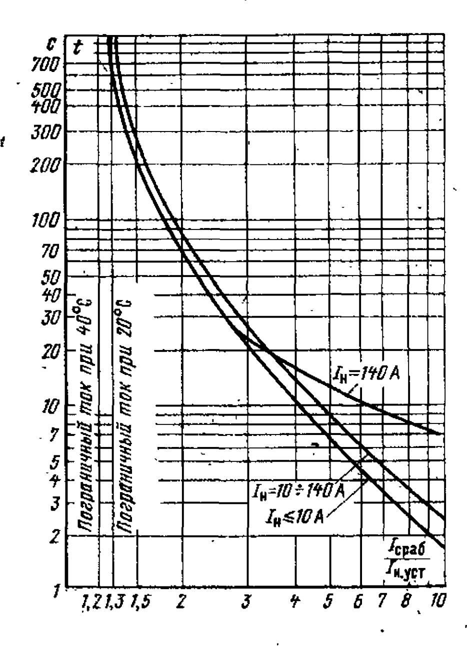


Рис. 6-2. Временные характеристики реле серии ТРТ.

в) Защитные панели

В соответствии с требованиями Госгортехнадзора каждый кран должен оборудоваться устройством, предназначенным для подачи питания к электроприводам механизмов и его отключения, причем включение, т. е. подача питания, может осуществляться после отпирания включающего устройства с помощью индивидуального ключа-марки. В свою очередь ключ не может быть вынут без выполнения операции отключения. Такая блокировка позволяет гарантировать приведение крана в пригодное к действию состояние только лицом, имеющим право на управление краном.

На всех типах кранов с электроприводом, кроме строительных башенных кранов, индивидуальный ключ-марка применяется в защитной панели. У строительных башенных кранов указанный ключ используется для бло-

Таблица 6-4

Технические данные защитных панелей

Тип	Каталожный номер	Напряжение, В	Номинальный ток продолжительного режима, А	Суммарный номинальный ток двигателей, А	Число максимальных реле РЭО 401	Назначение	Максимальный коммутационный ток, А
ПЗКБ 160	ЗТД.660.046.1	220	160	260	8	Магнитные и кулачковые контроллеры	1600
	ЗТД.660.046.2					Кулачковые контроллеры	
	ЗТД.660.046.3	380				Магнитные и кулачковые контроллеры	
	ЗТД.660.046.4					Кулачковые контроллеры	
ПЗКБ 400	ЗТД.660.047.1	220	400	680	8	Магнитные и кулачковые контроллеры	3600
	ЗТД.660.047.3	380					
ППЗБ 160	ЗТД.664.120.1	220	160	260	4	Магнитные и кулачковые контроллеры	1600
	ЗТД.664.120.2	440					

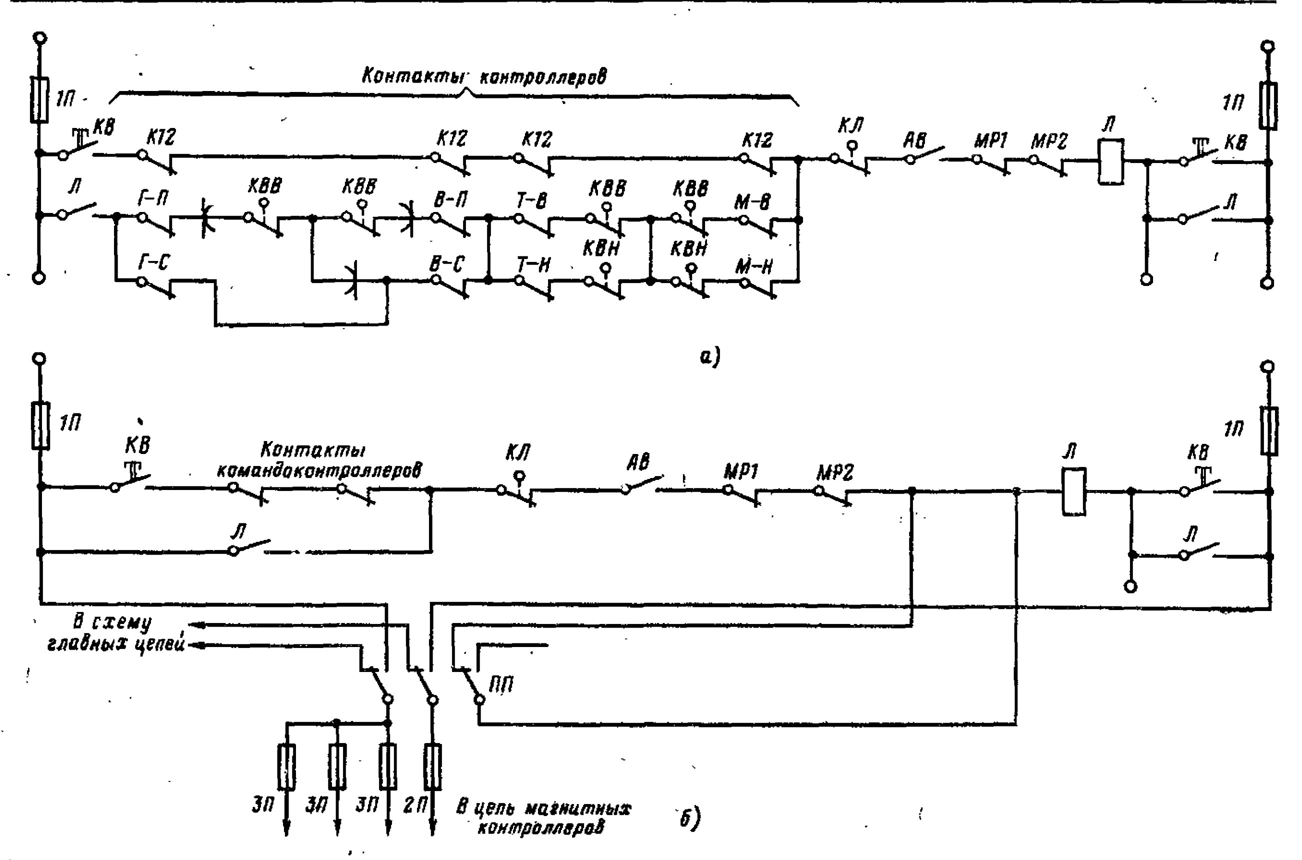


Рис. 6-3. Схема цепей управления защитных панелей.

а — при управлении кулачковыми контроллерами; *б* — при управлении магнитными контроллерами; *Г—П* — главный подъем, *Г—С* — главный спуск; *В—П* — вспомогательный подъем; *В—С* — вспомогательный спуск; *Т—В* — тележка вперед; *Т—Н* — тележка назад; *М—В* — мост вперед; *М—Н* — мост назад; *1П—3П* — предохранители; *КВ* — кнопка «возврат»; *КЛ* — контакт люка; *АВ* — аварийный выключатель; *Л* — линейный контактор; *МР1, МР2* — контакты максимальных реле; *КВВ, КВН* — конечные выключатели; *ПП* — переключатель проверки; *К12* — нулевые контакты контроллеров.

кирования главного рубильника (или автомата) в шкафу питания башенного крана, к которому подключен гибкий кабель питания.

Защитная панель крана является комплектным устройством, в котором расположен общий рубильник питания крана (или группы механизмов), линейный контактор для обеспечения нулевой защиты и размыкания цепи при срабатывании нулевой защиты, предохранители цепи управления, комплект максимальных реле, а также кнопка и пакетный переключатель, используемый в цепях управления.

Большинство кранов комплектуется защитными панелями трех типов:

ППЗБ 160 — для кранов, получающих питание от сети постоянного тока;

ПЗКБ 160 и ПЗКБ 400 — для кранов, получающих питание от сети переменного тока.

Технические данные защитных панелей приведены в табл. 6-4. Схема цепей управления защитных панелей показана на рис. 6-3.

В зависимости от общей мощности электроприводов механизмов крана защитные панели используются либо для питания всех электродвигателей через свои главные цепи (в пределах максимальных токов, указанных в табл. 6-4), либо через защитную панель получает питание только группа электродвигателей, а наиболее мощный электропривод, имеющий собственный узел защиты, получает питание непосредственно от вводного фидера крана. Но при этом через защитную панель должна получать питание либо его цепь управления целиком (магнитные контроллеры ТСАЗ 250 и магнитные контроллеры постоянного тока), либо только нулевые реле магнитных контроллеров серии К и КС. При таких способах включения обеспечивается функция блокирования при помощи защитной панели, даже если через нее и не проходит питание главных цепей.

Основным назначением защитной панели (помимо функции включения) является обеспечение максимальной и нулевой защиты электроприводов, управляемых при помощи кулачковых контроллеров или магнитных контроллеров, не имеющих своих устройств защиты. На схеме рис. 6-3, *а* и *б* показано включение цепей управления соответственно кулачковых и магнитных контроллеров. При перегрузке или частичном коротком замыкании контакты группового максимального реле размыкают цепь катушки контактора Л, который отключает от сети все двигатели, получающие питание через панель, а также двигатели, цепи управления которых включены через панель. При срабатывании аппаратов конечной защиты *КВВ*, *КВН*, блокировки люка *КЛ* или аварийного выключателя *АВ* также происходит отключение линейного контактора. Включение линейного контактора возможно при возвращении всех контроллеров в нулевое положение и нажатии блокировочной кнопки *КВ* (нулевая блокировка).

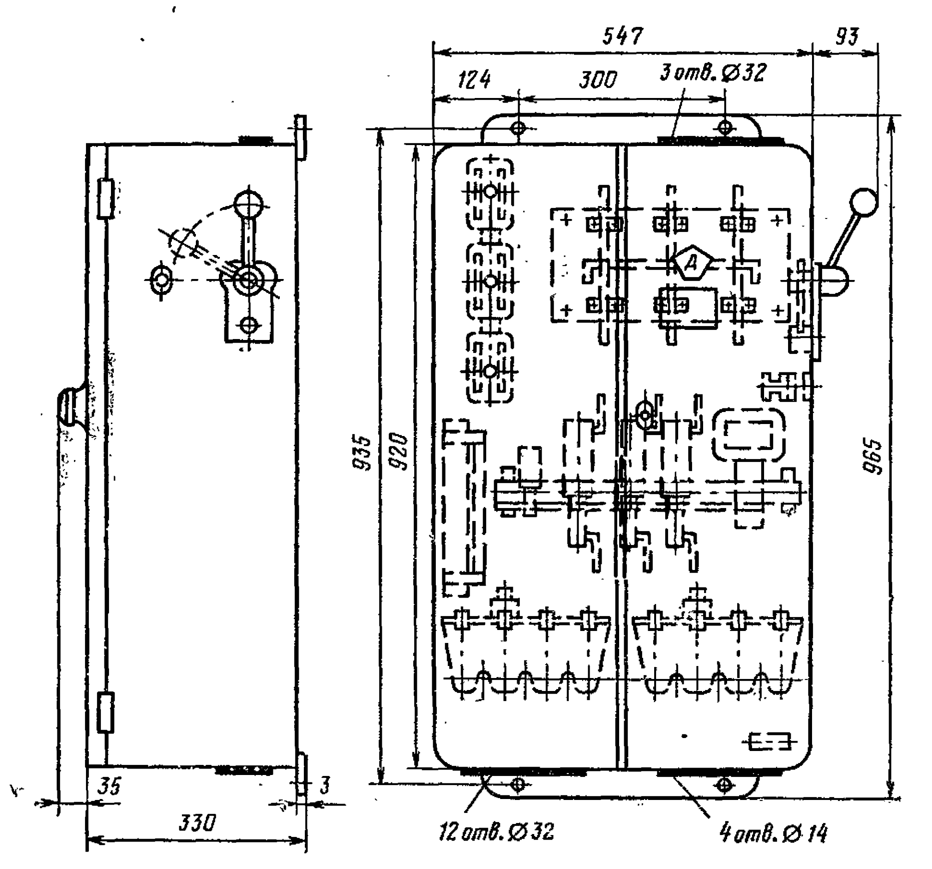


Рис. 6-4. Крановая защитная панель ПЗКБ 160.

Конструктивно защитная панель представляет собой металлический шкаф с установленными в нем на задней стенке аппаратами и соответствующим монтажом. Шкаф закрыт дверью, на которую навешивается замок. Рукоятка рубильника главной цепи и привод кнопки выведены наружу. Блок-замок, описанный выше, осуществляет блокировку рубильника главной цепи. В защитной панели установлены только основания и вспомогательные контакты максимальных реле с приводными скобами, а также приложен комплект шин для выполнения заказчиком необходимых соединений между катушками максимальных реле и контактором *Л*. Электромагниты реле РЭО 401 поставляются отдельно, так как их комплектация осуществляется заказчиком в соответствии с конкретными параметрами крана.

Общий вид защитной панели ПЗКБ 160 с габаритными размерами приведен на рис. 6-4.

г) Выбор максимальных реле и схемы их включения в защитных панелях

Чтобы защитить двигатели от перегрузки, достаточно иметь электромагнитное реле в одной фазе каждого двигателя. В остальные фазы реле ставятся только для защиты проводов, поэтому появляется возможность объединения двух фаз двигателей под общие реле. Эта возможность проверяется по следующей формуле:

$$I_{общ} \leqslant I_{уст},$$

где $I_{уст}$ — ток уставки максимальной защиты кабеля минимального сечения (идущего к двигателю минимальной мощности) из числа обслуживаемых данным общим реле. Значения $I_{уст}$ приведены в табл. 6-1; $I_{общ}$ — ток, на который настраивается реле в общей фазе двигателей.

Ток $I_{общ}$ находится по формуле

$$I_{общ} = 2{,}5 I_{н.б.м} + I_{н1} + I_{н2}, \qquad (6\text{-}3)$$

где $I_{н.б.м}$ — номинальный ток двигателя наибольшей мощности из числа защищаемых общими реле; $I_{н1}$, $I_{н2}$ — номинальные токи остальных двигателей из числа защищаемых общими реле (одновременная работа четырех двигателей маловероятна).

Ток $I_{общ}$ может лежать в пределах между уставками токов двух реле. При этом надо выбрать реле, имеющее больший продолжительный ток.

Выбор схемы производится, исходя из возможности объединения нескольких двигателей под общие блок-реле (при условии защиты проводов, подходящих к двигателю наименьшей мощности из числа объединяемых) с учетом механизмов, которые обслуживают объединяемые двигатели. На коротких расстояниях выгоднее увеличивать сечение проводов, чем добавлять реле в схему.

Рекомендуется увеличивать также сечение проводов, если группирование подключения двигателей к одному реле ведет к увеличению числа троллеев или колец кольцевых токоприемников.

В случае, если общие блок-реле не защищают провода, необходимо выделить двигатели максимальной или минимальной мощности для подключения к соответствующему реле. При этом общие блок-реле могут защитить провода оставшихся двигателей, так как:

1) применение для двигателя максимальной мощности отдельного реле защиты значительно уменьшает $I_{н.б.м}$;

2) применение для двигателей минимальной мощности отдельного реле защиты уменьшает разницу сечений оставшихся проводов.

Если два двигателя одновременно имеют наибольший или наименьший ток, то выделять реле для защиты одного из них не имеет смысла, их следует объединить в соответствующие группы.

Выбор всех электромагнитов реле производится по табл. 6-2.

Реле для отдельных электродвигателей выбираются согласно их мощности и напряжению и настраиваются на ток срабатывания, равный 2,5-кратному расчетному току номинальной нагрузки для ПВ=40%.

Существует большое количество схем включения катушек реле в защитных панелях (свыше пятнадцати), которые базируются на различных комбинациях использования от пяти до восьми электромагнитов реле и одинаковых шин и перемычек, входящих в комплект защитной панели.

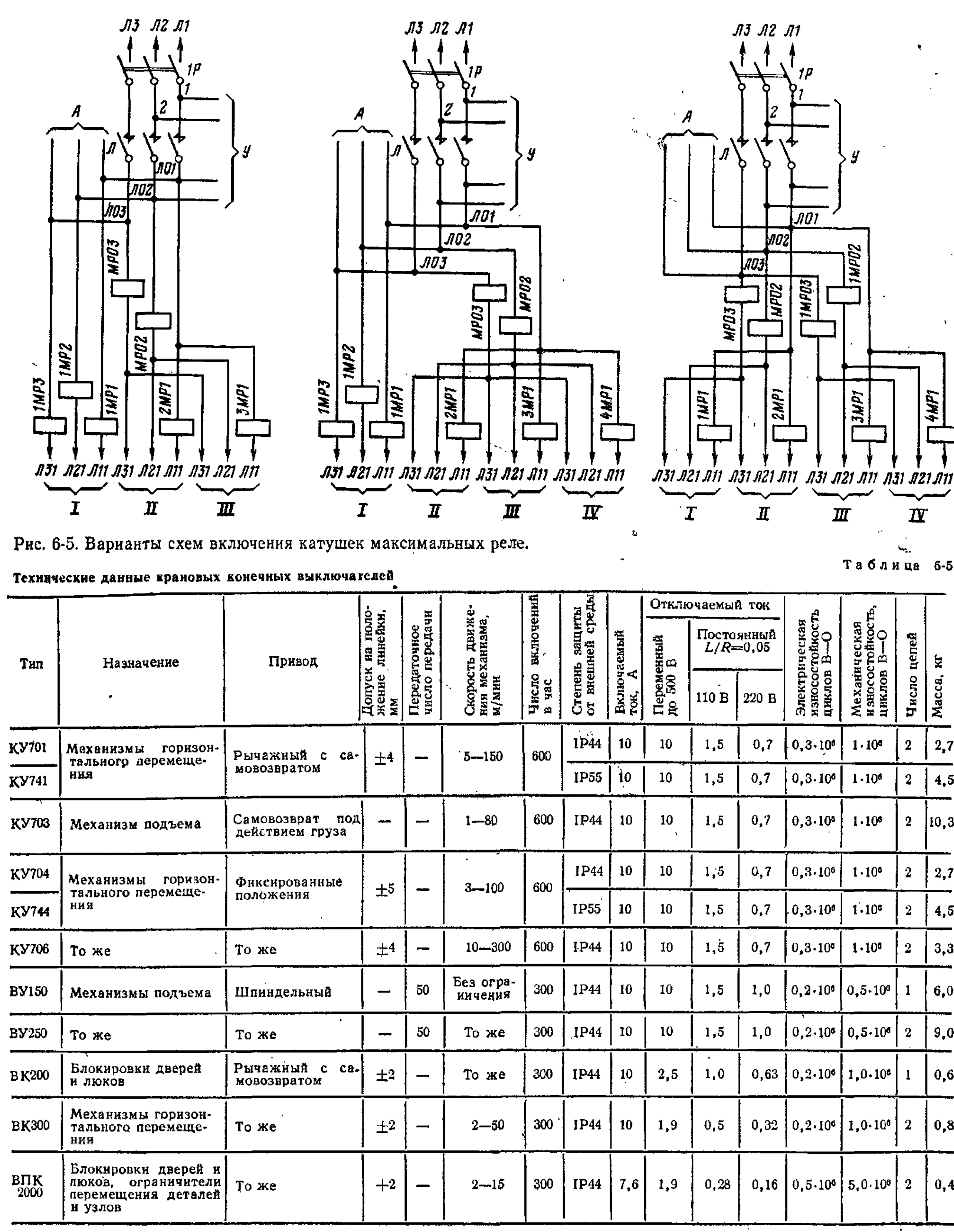


Рис. 6-5. Варианты схем включения катушек максимальных реле.

Таблица 6-5

Технические данные крановых конечных выключателей

Тип	Назначение	Привод	Допуск на положение линейки, мм	Передаточное число передачи	Скорость движения механизма, м/мин	Число включений в час	Степень защиты от внешней среды	Включаемый ток, А	Отключаемый ток: Переменный до 500 В	Отключаемый ток: Постоянный L/R=0,05, 110 В	Отключаемый ток: Постоянный L/R=0,05, 220 В	Электрическая износостойкость, циклов В—О	Механическая износостойкость, циклов В—О	Число цепей	Масса, кг
КУ701	Механизмы горизонтального перемещения	Рычажный с самовозвратом	±4	—	5—150	600	IP44	10	10	1,5	0,7	0,3·10⁶	1·10⁶	2	2,7
КУ741							IP55	10	10	1,5	0,7	0,3·10⁶	1·10⁶	2	4,5
КУ703	Механизм подъема	Самовозврат под действием груза	—	—	1—80	600	IP44	10	10	1,5	0,7	0,3·10⁶	1·10⁶	2	10,3
КУ704	Механизмы горизонтального перемещения	Фиксированные положения	±5	—	3—100	600	IP44	10	10	1,5	0,7	0,3·10⁶	1·10⁶	2	2,7
КУ744							IP55	10	10	1,5	0,7	0,3·10⁶	1·10⁶	2	4,5
КУ706	То же	То же	±4	—	10—300	600	IP44	10	10	1,5	0,7	0,3·10⁶	1·10⁶	2	3,3
ВУ150	Механизмы подъема	Шпиндельный	—	50	Без ограничения	300	IP44	10	10	1,5	1,0	0,2·10⁶	0,5·10⁶	1	6,0
ВУ250	То же	То же	—	50	То же	300	IP44	10	10	1,5	1,0	0,2·10⁶	0,5·10⁶	2	9,0
ВК200	Блокировки дверей и люков	Рычажный с самовозвратом	±2	—	То же	300	IP44	10	2,5	1,0	0,63	0,2·10⁶	1,0·10⁶	1	0,6
ВК300	Механизмы горизонтального перемещения	То же	±2	—	2—50	300	IP44	10	1,9	0,5	0,32	0,2·10⁶	1,0·10⁶	2	0,8
ВПК 2000	Блокировки дверей и люков, ограничители перемещения деталей и узлов	То же	+2	—	2—15	300	IP44	7,6	1,9	0,28	0,16	0,5·10⁶	5,0·10⁶	2	0,4

На рис. 6-5 приведены три наиболее часто используемые схемы включения электромагнитов реле для управления кранами с тремя или четырьмя механизмами.

При применении для отдельных механизмов кранов короткозамкнутых электродвигателей вместо электромагнитов РЭО 401 могут быть установлены тепловые реле ТРТ. При этом вспомогательные контакты тепловых реле следует включить последовательно с вспомогательными контактами электромагнитных реле.

д) Ограничение предельных положений перемещения

Защита от перехода механизмами предельных положений осуществляется конечными и путевыми выключателями. Эта защита обязательна к применению для всех механизмов подъема и механизмов передвижения башенных, портальных и козловых кранов, а также для механизмов горизонтального перемещения других кранов со скоростями перемещения свыше 0,5 м/с. Отечественной промышленностью изготавливаются конечные выключатели только для коммутации цепей управления, поэтому контакты конечных выключателей включены либо в цепь катушки линейного контактора защитной панели, либо в цепь нулевой защиты магнитных контроллеров. Кроме того, контакты конечных выключателей могут включаться в цепи сигнализации. Конструктивные схемы различных рычажных конечных выключателей приведены на рис. 6-6.

Технические данные конечных выключателей приведены в табл. 6-5.

Рычажные конечные выключатели могут иметь перестраиваемую таблицу замыкания каждого из контактов в соответствии с данными на рис. 6-6. Шпиндельные конечные выключатели имеют регулируемую диаграмму замыкания контактов в интервале 15—270° поворота кулачковой шайбы. Для механизмов с малыми выбегами целесообразно применять выключатели с самовозвратом, а для механизмов с большим выбегом выключатели с фиксированными положениями включения — отключения. Устанавливая конечные выключатели рычажного типа, следует выдерживать допуски на положение линейки,

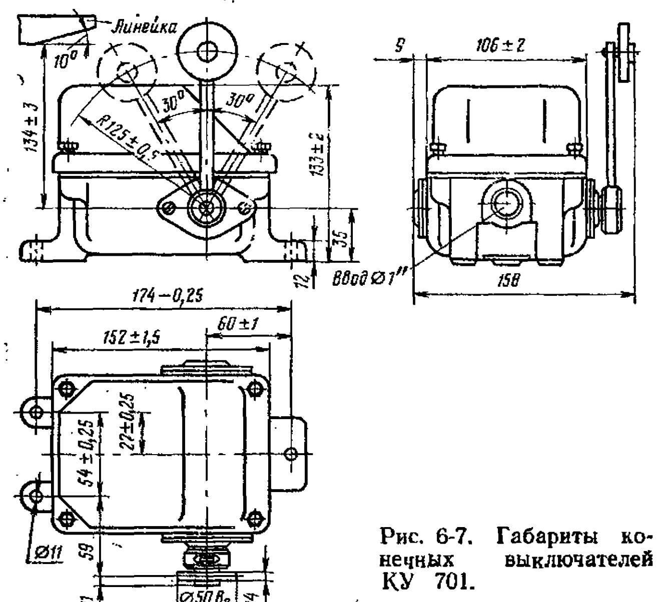


Рис. 6-7. Габариты конечных выключателей КУ 701.

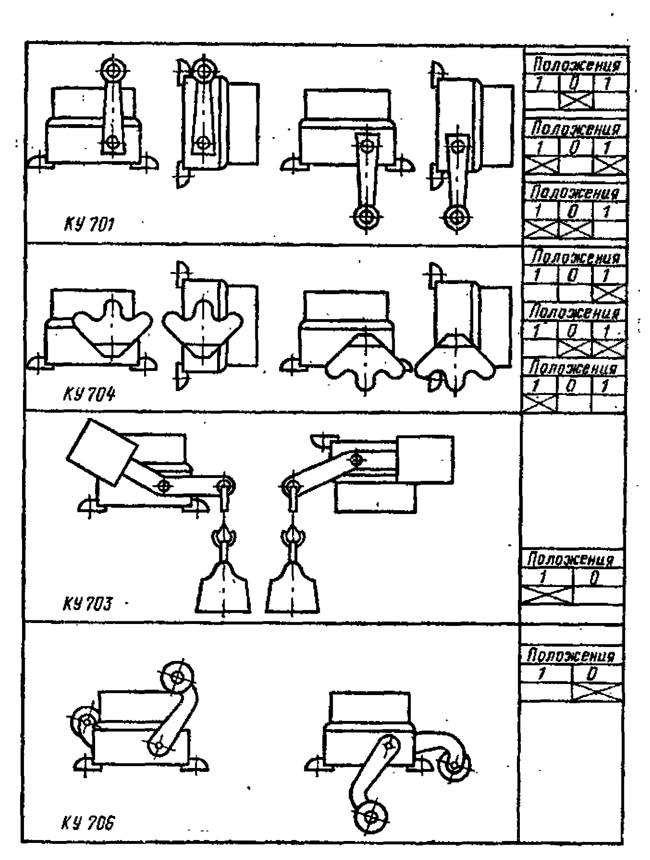


Рис. 6-6. Конструктивные схемы различных рычажных выключателей.

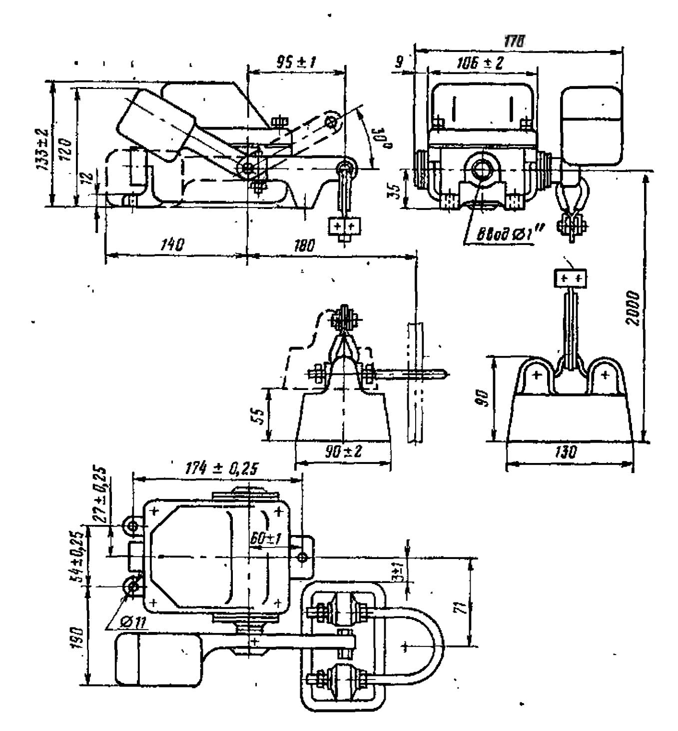


Рис. 6-8. Габариты конечных выключателей КУ 703.

воздействующей на рычаг выключателя. После срабатывания выключателя под действием линейки должно быть обеспечено дальнейшее ее движение на длину возможного выбега. Место установки выключателя выбирается с учетом обеспечения безопасного выбега механизма после срабатывания защиты. Ориентировочно выбег S, м, механизмов может быть установлен, исходя из следующих соотношений:

для механизмов подъема $S=(0{,}5\div0{,}7)v^2$;

для механизмов тележки $S=(0{,}4\div0{,}6)v^2$;

для механизмов поворота и передвижения крана $S=(0{,}6\div0{,}8)v^2$.

В этих выражениях v — максимальная линейная скорость движения механизма, м/с.

Габаритные размеры конечных выключателей КУ 701 показаны на рис. 6-7, а конечных выключателей КУ 703 — на рис. 6-8. Конечные выключатели используются также в схемах для программного управления электроприводами в функции пути, для предотвращения наезда одного механизма на другой и в качестве аппарата защиты от недопустимых перекосов конструкций.

е) Ограничение перегрузки конструктивных элементов крана

Ограничение грузоподъемности является одним из важных элементов обеспечения надежной работы кранов. Как правило, электропривод подъема способен создать вращающие моменты, при которых масса поднимаемого груза может быть значительно выше расчетной грузоподъемности, поэтому для ряда кранов, где в эксплуатации возможна перегрузка по массе поднимаемого груза, должны применяться ограничители грузоподъемности. Так, на всех строительных башенных кранах применение таких ограничителей обязательно. При использовании на крюковых мостовых кранах грузоподъемных электромагнитов также необходимо применение ограничителей грузоподъемности. В большинстве конструкций ограничителей грузоподъемности они в конечном счете воздействуют на конечный выключатель рычажного типа, контакты которого включены в цепь защиты электропривода подъема. У стреловых кранов контакты выключателя ограничителя грузоподъемности должны воздействовать на цепи защиты как электропривода подъема, так и электропривода стрелы.

Крупные мостовые и козловые краны, перегружатели и другие аналогичные грузоподъемные машины, как правило, имеют отдельные приводы передвижения, механически между собой не связанные. При движении таких механизмов за счет неравномерности распределения нагрузок и неточности изготовления отдельных элементов одна сторона сооружения может отставать от другой, т. е. образуется так называемый «перекос». Краны разных конструкций допускают определенные значения перекосов.

Если возможный в эксплуатации перекос может превышать допустимый для данной конструкции, то необходимо иметь устройство контроля перекосов, а в схемах электропривода должны присутствовать соответствующие элементы для выравнивания положения моста. В качестве измерительных устройств перекоса используются либо механические датчики, воздействующие на рычаги конечных выключателей, либо сельсины-датчики на каждом из механизмов, связанные с дифференциальным сельсином-приемником, который при суммарной определенной разнице сигналов сельсинных датчиков воздействует на выключатель ограничения перекоса. Для выравнивания положения мостов кранов после отключения ограничителя перекосов в схеме электропривода должна предусматриваться возможность кнопочного управления для выключения отдельно одного из приводов механизма передвижения.

6-2. ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

а) Основные технические характеристики электромагнитов

Грузоподъемные электромагниты предназначены для захвата, удержания и транспортировки грузов из ферромагнитных материалов. Грузоподъемные электромагниты постоянного тока выполняются на номинальное напряжение 220 или 110 В, а при питании от встроенных батарей — на 24 В и рассчитаны на колебания напряжения сети от 0,85 до 1,05 номинального и номинальную продолжительность включения ПВ=50÷70% при работе с холодным грузом. Возможно применение электромагнитов при работе с грузами, имеющими температуру до 500—600° С (с обязательным снижением грузоподъемности). Поэтому класс нагревостойкости изоляции грузоподъемных электромагнитов F или H и только в двухполюсных электромагнитах применяется изоляция классов B или F.

Расчетное время одного цикла работы в повторно-кратковременном режиме с ПВ=50% не более 10 мин. Если ПВ>50%, то напряжение на катушке электромагнита снижают во избежание чрезмерного нагрева. При этом подъемная сила электромагнита уменьшится. Допустимое рабочее напряжение на катушке электромагнита при увеличении продолжительности включения определяется по формуле

$$U_{\text{доп}}=\frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{\text{ПВ}_{\text{ф}}/\text{ПВ}_{\text{н}}}}, \quad (6\text{-}4)$$

где $\text{ПВ}_{\text{ф}}$ и $\text{ПВ}_{\text{н}}$ — фактическое и номинальное значения продолжительности включения; $U_{\text{н}}$ — номинальное напряжение электромагнита.

Температурный коэффициент увеличения сопротивления на 1° С нагрева составляет для меди и алюминия $\alpha=0{,}004$ °С$^{-1}$. При этом различают два значения потребляемой мощности электромагнитом — в холодном и горячем состояниях. Потребляемая мощность в обоих случаях определяется двумя составляющими: мощностью электромагнита и мощностью параллельно включенного разрядного сопротивления.

Рабочей грузоподъемностью электромагнита считается максимально возможная масса гладкой холодной стальной плиты (при нагретой катушке электромагнита), поднимаемой электромагнитом. Грузоподъемность электромагнита изменяется в 50—70 раз в зависимости от формы, размеров, материала и раскладки груза.

Грузоподъемность электромагнита выражается формулой Максвелла для электромагнитной силы:

$$F=\frac{10^{13}\Phi^2}{25\cdot S}=\frac{10^{13}(Iw)^2}{25S(R_{\text{в}}+R_{\text{м}})^2}, \quad (6\text{-}5)$$

где F — подъемная сила, Н; Φ — магнитный поток, Вб; Iw — м. д. с. катушки электромагнита, А; S — площадь соприкосновения груза с полюсами электромагнита, м^2; $R_{\text{в}}$ — магнитное сопротивление воздушных участков пути магнитного потока, м (при $\mu=1$); $R_{\text{м}}$ — магнитное сопротивление металлических участков пути магнитного потока.

Если вместо сплошной плиты поднимать стружку, то магнитное сопротивление резко возрастает и грузоподъемность в относительных единицах падает со 100 до 1,5—2%. Если принять грузоподъемность при подъеме сплошной плиты круглого электромагнита за 100%, то

грузоподъемность для других, наиболее характерных грузов составит, %:

Копровый шар (электромагнит со специальными полюсами)	60
Трубы, бруски, рельсы	50
Копровый шар (стандартный электромагнит)	40
Стальные листы и полосы	15
Скрап стальной (тяжелые куски)	7
Чушки (машинное литье)	5
Чушки (литье в землю), скрап стальной (средние куски)	4
Скрап чугунный (средние куски)	3
Стружка стальная размельченная	2,5
Скрап стальной (мелкие куски), стружка чугунная	2
Стружка стальная неразмельченная	1,5

Масса обмоток электромагнита составляет около 12,5% массы электромагнита при медной обмотке и 10% — при алюминиевой.

Грузоподъемные электромагниты изготавливаются круглыми и прямоугольными, а также в виде различных специальных форм.

Круглые электромагниты предназначены для стальных и чугунных грузов относительно небольших размеров или неопределенной формы: плит, болванок, различного скрапа, чугунных чушек, стружки, пакетов, рулонной стали и т. п. Они используются также для подъема бойных шаров, которые при падении дробят крупный чугунный металлолом.

Прямоугольные электромагниты предназначены для стальных и чугунных длинномерных грузов: рельсов, балок, стального проката круглого, прямоугольного и других профилей, труб, листовой стали и т. п. В зависимости от длины грузов применяют два и более прямоугольных магнита, подвешенных на одной траверсе крана. Электромагнитами любых типов можно проводить кантование листов, слябов и других грузов.

Анализ отечественных и зарубежных конструкций электромагнитов, показывает, что геометрические соотношения основных размеров в различных сериях электромагнитов близки. Например, для круглых электромагнитов отношение высоты к диаметру составляет 0,2—0,3, а отношение внутреннего диаметра полюса к внешнему равно 0,26—0,36.

Основной показатель грузоподъемности электромагнитов — коэффициент отношения грузоподъемности электромагнита к его массе $K_{г.э}$. У круглых магнитов с медной обмоткой $K_{г.э}=6\div16$, а у прямоугольных $K_{г.э}=5\div26$ (при подъеме плиты). При алюминиевой обмотке круглые магниты имеют $K_{г.э}=13\div26$, прямоугольные имеют $K_{г.э}=25\div43$. Таким образом, для подъема массивных грузов с плоской ровной поверхностью целесообразнее применять прямоугольные магниты. Круглые магниты эффективнее использовать для поднятия скрапа, чушек, стружки и т. п.

Электромагниты, у которых в процессе работы полюсные башмаки подвергаются сильному износу, изготавливают с болтовым соединением частей магнитопровода. Применение алюминиевой обмотки с наружной оксидной пленкой снижает массу электромагнита на 15—20%, но при этом повышается расход электроэнергии на 30%, поэтому применение таких электромагнитов ограничено.

Вес поднимаемого груза на единицу площади электромагнита составляет 7—16 Н/см². Удельная потребляемая мощность на единицу веса поднимаемого груза находится в пределах 2—7 Вт/Н, а в ряде случаев для электромагнитов с малой грузоподъемностью она снижается до 1—2 Вт/Н.

Электромагниты со встроенным питанием от батарей потребляют в среднем 0,4—1,2 Вт/Н. Они надежны и безопасны в эксплуатации, но имеют ограниченную продолжительность непрерывной работы и увеличенную массу, а также неудобны в обслуживании.

б) Электромагниты серий М и ПМ

Электромагниты постоянного тока серий М и ПМ соответствуют ГОСТ 10130-74. Они предназначены для работы во невзрывоопасной окружающей среде и высоте над уровнем моря не более 2000 м, имеют степень защиты IP34. Номинальное напряжение 220 В, режим работы ПВ⩽50% при работе с холодным грузом. Допускается работа при ПВ более 50%, а также с грузами, имеющими температуру до 500° С, при условии соответствующего снижения напряжения на катушке электромагнита.

Таблица 6-6

Технические данные электромагнитов серий М и ПМ

Тип электромагнита	Номинальный ток катушки, А	Грузоподъемность, кг, при грузе				
		болванка или плита	чугун в чушках	скрап стальной	стружка стальная	бойный шар
М 22В	10,5	6000	200	200	80	—
М 42В	32,5	16 000	600	600	200	—
М 62В	56,5	20 000	1800	1800	600	—
М 40Б	32,5	—	—	—	—	10 000
ПМ 15Б	10,5	7000	—	—	—	—
ПМ 25Б	20,0	14 000	—	—	—	—

Технические данные электромагнитов приведены в табл. 6-6, причем ток соответствует нагретой катушке, а грузоподъемность — холодному грузу. Обмоточные данные катушек указаны в табл. 6-7.

Таблица 6-7

Обмоточные данные катушек электромагнитов

Параметры катушки	Тип электромагнита				
	М 22В	М 42В, М 40Б	М 62В	ПМ 15Б	ПМ 25Б
Марка провода	ПСД	ЛММ	ЛММ	ПСД	ЛММ
Размер голого провода, мм	1,5×3,15	0,5×25	1,25×25	1,8×3,35	0,4×22
Число витков	2600	1488	1662	2322	1152
Сопротивление при 20° С, Ом	13,50	4,49	2,58	14,00	7,28
Масса меди, кг	155	361	1270	240	290
Число секций	1	4	6	2	8
Число витков в секции	2600	372	277	1161	144
Толщина и ширина межвитковой изоляции, мм	—	0,2×26,5	0,3×26,5	—	0,2×23

Конструкция и основные размеры электромагнитов показаны на рис. 6-9 и 6-10.

Корпус отливается из малоуглеродистой стали 25Л и имеет относительно высокую магнитную проницаемость. Внутри корпуса находится катушка, которая снизу закреплена стальной шайбой толщиной 2—3 мм, приваренной к корпусу.

Обмотка состоит из одной или нескольких секций, пропитанных нагревостойкой эмалью. Витки обмотки из медной ленты изолированы друг от друга асбестовой бумагой. Секции соединены последовательно. Обмотка электромагнита расклинивается по внутреннему и наружному диаметру относительно корпуса. Применяемые в электромагнитах изоляционные материалы имеют класс нагревостойкости не ниже F.

С наружной части катушка защищена от ударов о груз толстой стальной немагнитной шайбой (плитой). В круглых магнитах немагнитная шайба удерживается при помощи дугообразных стальных полос, приваренных к корпусу, а в прямоугольных — внутренним полюсом,

закрепленным болтами на корпусе, и профильной планкой, приваренной снизу к корпусу. Круглый электромагнит М 40Б для подъема бойного шара выполняется с центральной выемной частью полюса и выступающим наконечником магнитной системы по наружному периметру электромагнита; наконечник приварен к корпусу и образует с выемной частью полюса в зоне прилегания к грузу сферическую поверхность. После сборки катушки все пустоты в корпусе заливают нагревостойкой полимеризующейся массой для повышения механической и электрической прочности катушки и улучшения отвода тепла от катушки.

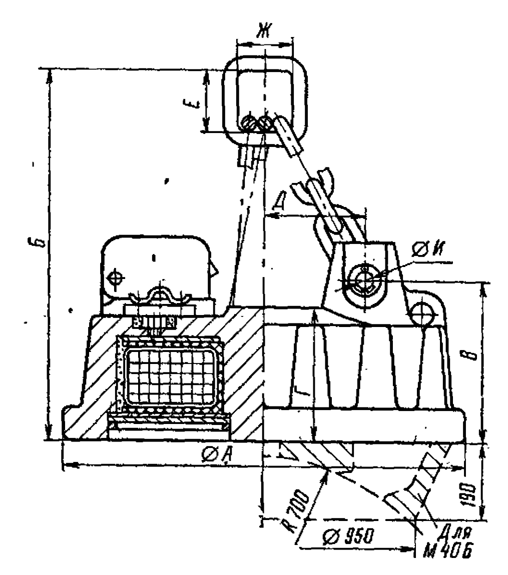


Рис. 6-9. Круглые грузоподъемные электромагниты.

Тип	Габаритные размеры, мм								Масса, кг
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	
М 22В	785	825	325	275	225	175	100	35	550
М 42В	1170	1120	325	275	300	250	150	45	1500
М 40Б	1150	1110	325	275	300	250	150	45	1600
М 62В	1650	1335	440	390	480	250	150	45	3300

Коробка выводов защищена от механических повреждений массивным стальным литым кожухом. Внутри кожуха находятся изоляционная крышка, закрывающая выводные концы катушки, и болт заземления. Питающий кабель вводится в коробку выводов через резиновую втулку и дополнительно закрепляется на входе клицей.

Подвеска круглых электромагнитов осуществляется посредством цепи, состоящей из трех элементов (смычек), закрепленных в проушинах корпуса. Смычки выполнены таким образом, чтобы предотвратить закручивание и обеспечить строго горизонтальное положение подвешенного электромагнита, уменьшить истирание от-

Таблица 6-3

Грузоподъемность электромагнитов при различных видах грузов

Тип электромагнита	Количество электромагнитов, работающих на одном кране	Вид груза	Размеры груза, мм	Поднимаемое количество, шт.	Масса груза, кг	
					1 шт.	общая
М 42В	1	Изложницы	—	1	<12 500	—
	1	Стальные пробки для изложниц	⌀ 330, высота ⩽100	<16	64	1000
	1	Листы	60×2000×6000	1	5650	—
	2	»	5×1400×4500	11	250	2750
	2	»	12×1800×7300	3	1250	3750
	2	»	26×1250×7400	<3	1900	5700
	4	»	6×1300×12000	8	750	6000
	4	»	8×1600×12000	5	1200	6000
	4	»	10×1950×12000	4	1850	7400
	4	»	12×2500×12000	3	2850	8500
М 62В	1	Обрезки блюмов с температурой 120° С	Примерно 90×110×230	<12	—	2 000
	1	Обрезки рельсов	Мелкие	—	—	800
	1	Рулоны стали с температурой 300°С	—	4	2500	10 000
	1	Прессованные пакеты	—	3	1000	3000
ПМ 15Б	1	Листы	6×1000×1750	8	85	1 683
	1	»	6×1400×4200	4	280	1 120
	1	»	14×1000×6000	2	660	1 3020
	1	»	100×1000×4000	1	3200	—
	1	Квадрат	450×450×4500	1	7200	—
ПМ 25Б	1	Блюмы с температурой 200° С	300×300×4500	4	3200	12 800
	1	Блюмы с температурой 200° С	270×270×4500	5	2700	13 500
	1	Слябы	108×1010×4200	3	3600	10 800
ПМ 15Б	1	Слябы	112×760×4200	5	2800	14 000
	2	Рельсы Р-53	Длина 12 500	10	625	6250
	2	Рельсы Р-65	Длина 12 500	9	813	7300
	2	Рельсы Р-75	Длина 12 500	7	938	6575
	2	Листы	7×1800×7000	10	700	7000
	2	Квадраты	65×65×6000	21	200	4200
	4	Рельсы Р-50 с температурой 500° С	Длина 25 000	10	1250	12 500
	4	Рельсы Р-65 с температурой 500° С	Длина 25 000	9	1625	14 600
	4	Рельсы Р-75 с температурой 500° С	Длина 25 000	7	1875	13 150

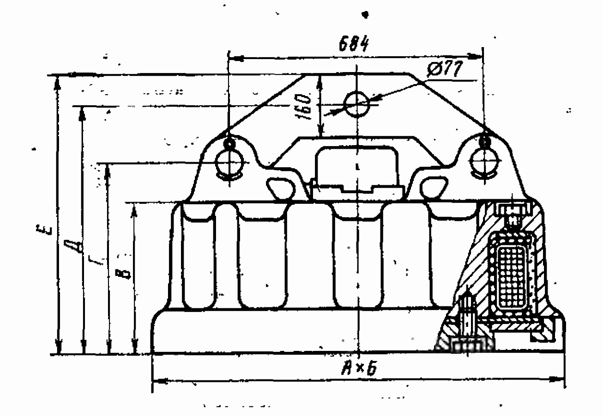


Рис. 6-10. Прямоугольные грузоподъемные электромагниты.

Тип	Размеры, мм						Масса, кг
	А	Б	В	Г	Д	Е	
ПМ 15Б ПМ 25Б	1100 1700	640 660	400 420	490 510	650 670	735 755	1500 2400

дельных звеньев. Для подвески прямоугольных электромагнитов служит коромысло с отверстием для зацепления на траверсе крана.

Устройства для подвески электромагнитов рассчитаны на максимальную грузоподъемность с учетом собственной массы электромагнита и требуемого коэффициента запаса прочности. На кольце цепи электромагнита наносятся клеймо отдела технического контроля, номер протокола испытаний цепи и год выпуска. Грузоподъемность электромагнитов зависит от характера груза (табл. 6-8).

Неправильное использование электромагнитов, без учета их подъемной силы может привести к повреждению металлоконструкций и механизмов кранов.

Расчетный срок службы электромагнитов составляет 10 лет и может несколько изменяться в зависимости от конкретных условий эксплуатации. В течение расчетного срока службы вероятность безотказной работы не менее 0,94 при доверительной вероятности 0,8. Переход на сплошной литой корпус в прямоугольных электромагнитах вместо сборного с торцевыми крышками существенно повысил надежность и реальный срок службы электромагнитов. В эксплуатации необходимо соблюдать определенные правила, обеспечивающие продление срока службы электромагнитов.

Для ограничения чрезмерного превышения температуры катушки относительная продолжительность включения не должна превосходить 50%, так как повышенный нагрев увеличивает сопротивление обмотки и снижает грузоподъемность, уменьшает срок службы изоляции. Нагрев катушки электромагнита можно определить по току, который при напряжении 220 В и превышении температуры 150° С не должен быть меньше значений, указанных ниже:

М 22Б	10 А
М 42Б, М 40Б	31 А
М 62Б	53 А
ПМ 15	10 А
ПМ 25А	19 А

К чрезмерному нагреву обмотки приводят также преждевременное включение электромагнита и задержка его отключения, а также работа с горячими грузами.

Для снижения механических нагрузок, воздействующих на электромагнит и изоляцию обмотки, не следует бросать его на груз, использовать для выравнивания стопы слябов и других крупных стальных болванок, включать до касания с грузом, что исключает подскок груза и удар его об электромагнит.

После включения электромагнита необходимо сделать некоторую выдержку до его перемещения, так как нарастание магнитного потока происходит за время от 2,5—3 с для электромагнитов М 22Б до 10—12 с — для электромагнитов М 62Б при работе на сплошной массивной болванке. На скрапе время нарастания потока сокращается примерно вдвое, поскольку магнитное сопротивление увеличивается, а поток падает.

При обрыве кабеля или цепи разрядных резисторов перенапряжения на обмотке электромагнита достигают 5000 В, поэтому необходимы профилактические меры по обеспечению надежной работы цепи разрядных сопротивлений, схемы управления и целостности питающего кабеля.

Сопротивление изоляции электромагнита относительно его корпуса не должно быть менее 10 МОм в холодном состоянии и 0,6 МОм в нагретом состоянии. Испытательное напряжение нового электромагнита 3000 В переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин.

в) Управление и питание электромагнитов

Грузоподъемные электромагниты имеют большую индуктивность, поэтому для быстрого и полного сброса груза, а также для ограничения перенапряжения до значения не более 2 кВ применяются специальные схемы и аппаратура управления. Электромагниты получают напряжение от двигатель-генераторной или выпрямительной установки. Принципиальные схемы управления при питании электромагнитов от сети постоянного тока приведена на рис. 6-11, *а* и *б*.

Управление электромагнитом по указанной схеме производится следующим образом. При включении командоконтроллера *К* подается напряжение на контактор намагничивания *В*, замыкающие контакты которого подключают электромагнит к сети. При этом по катушке *М* электромагнита протекает номинальный ток, а параллельно включенное разрядное сопротивление (*Р1—Р4*, *Р4—Р3* и *Р3—Р2*) обтекается током меньшего значения. Катушка контактора *Н*, включенная между точками *6* и *7*, не обтекается током вследствие наличия последовательно включенного размыкающего вспомогательного контакта *В*, разомкнутого при включенном контакторе *В*.

При отключении командоконтроллера *К* размыкаются замыкающие контакты контактора *В*, электромагнит кратковременно отключается и автоматически включается на обратную полярность, а после отпадания груза электромагнит окончательно отключается от источника питания. Такое включение электромагнита обеспечивает размагничивание груза, что способствует быстрому его отпаданию.

Автоматическое действие при отключении электромагнита обеспечивается главным образом работой контактора размагничивания *Н*. Напряжение на зажимах катушки контактора *Н* определяется падением напряжения на участках сопротивлений *6—Р4* и *Р4—7*. При отключении электромагнита его ток не исчезает мгновенно, а замыкается через цепочку разрядных сопротивлений. Сопротивления участков *6—Р4* и *Р4—7* подобраны таким образом, что после отключения командо-

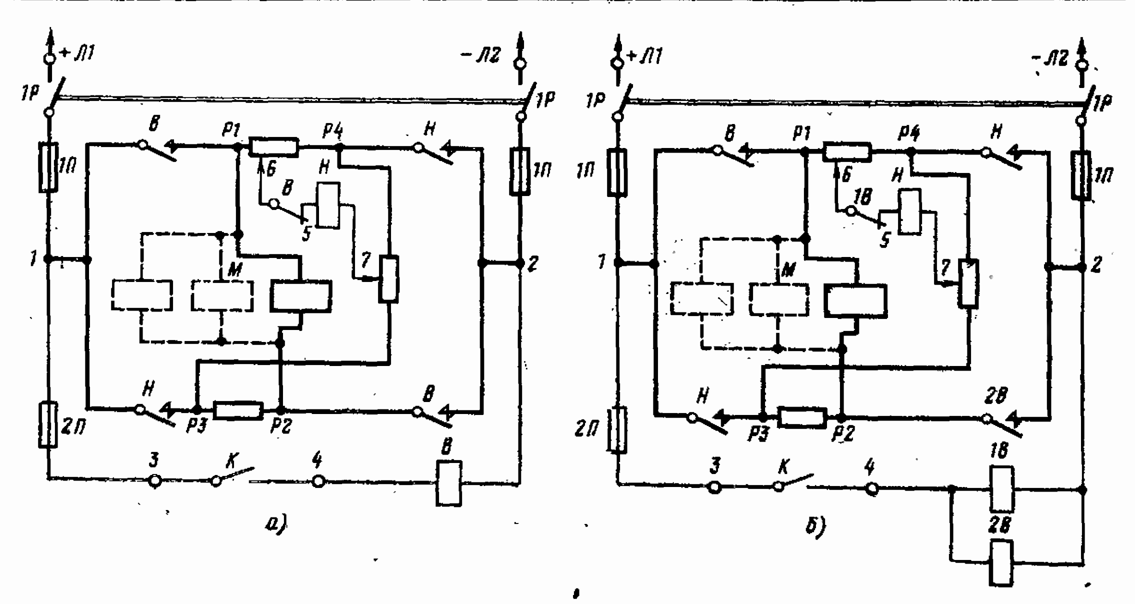


Рис. 6-11. Принципиальные схемы управления магнитными контроллерами ПМС 50 (*а*) и ПМС 150 (*б*) для подъемных электромагнитов.

В или *1В*, *2В* — двухполюсный контактор намагничивания или два однополюсных; *Н* — двухполюсный контактор размагничивания; *1Р* — рубильник; *1П*, *2П* — предохранители силовой цепи и цепи управления; *К* — командоконтроллер; *М* — электромагнит; *Р1—Р4*, *Р4—Р3* и *Р3—Р2* — разрядные сопротивления.

контроллера *К* и замыкания размыкающего контакта *В* включается контактор *Н*. После включения контактора *Н* замыкаются его силовые контакты и электромагнит подключается к сети. При этом направление тока в катушке электромагнита и в сопротивлении *6—Р4*, включенном последовательно с катушкой, с течением времени изменяется на обратное. Изменение направления тока на участке сопротивления *6—Р4* происходит с предварительным снижением предыдущего противоположно направленного тока до нуля. При нуле тока на участке *6—Р4* контактор *Н* удерживается во включенном состоянии, так как для этого достаточно падения напряжения на участке *Р4—7* (на участке *6—Р4* падение напряжения при этом равно нулю).

При изменении направления тока на участке *6—Р4* контактор *Н* отключается, так как его катушка оказывается включенной на разность падений напряжений на участках *6—Р4* и *Р4—7*. Отключение контактора *Н* происходит при достижении током размагничивания величины, равной 10—20% рабочего тока холодной катушки электромагнита, т. е. практически после размагничивания и отпадания груза. Отключаясь, контактор *Н* отключает от сети катушку электромагнита, которая остается замкнутой на разрядное сопротивление. Это облегчает условия разрыва дуги контактором и снижает перенапряжение, увеличивая срок службы изоляции катушки. Размыкающий вспомогательный контакт контактора *В* (в цепи катушки контактора *Н*) исключает одновременную работу обоих контакторов.

Схема позволяет регулировать время размагничивания, что можно осуществить передвижением хомутов сопротивлений, т. е. изменением значений сопротивлений участков *6—Р4* и *Р4—7*. Вместе с тем это время автоматически регулируется в зависимости от вида поднимаемого груза. При большей массе груза магнитная проводимость его больше, что приводит к увеличению постоянной времени электромагнита и тем самым к увеличению времени размагничивания. При малой массе груза время размагничивания уменьшается.

По описанной схеме изготавливаются магнитные контроллеры типов ПМС 50, ПМС 150, ПМС 50Т и ПМС 150Т, характеристики которых указаны в

Таблица 6-9

Магнитные контроллеры для управления электромагнитами и максимальная мощность, потребляемая электромагнитами

Тип электромагнита	Количество одновременно включенных электромагнитов	Тип магнитного контроллера	Мощность, потребляемая электромагнитами, кВт
М 22В	1 2 3 4	ПМС 50	4,0 8,4 11,8 15,4
М 42В М 40Б	1 1	ПМС 50	12,2 12,2
М 42В	2 3	ПМС 150	24,4 36,0
М 62В	1	ПМС 150	21,5
ПМ 15Б	1 2 3 4	ПМС 50	4,0 8,4 11,8 15,4
ПМ 15Б	5	ПМС 150	24,4
ПМ 25Б	1	ПМС 50	8,2
ПМ 25Б	2 3 4 5	ПМС 150	15,0 23,9 30,2 36,0

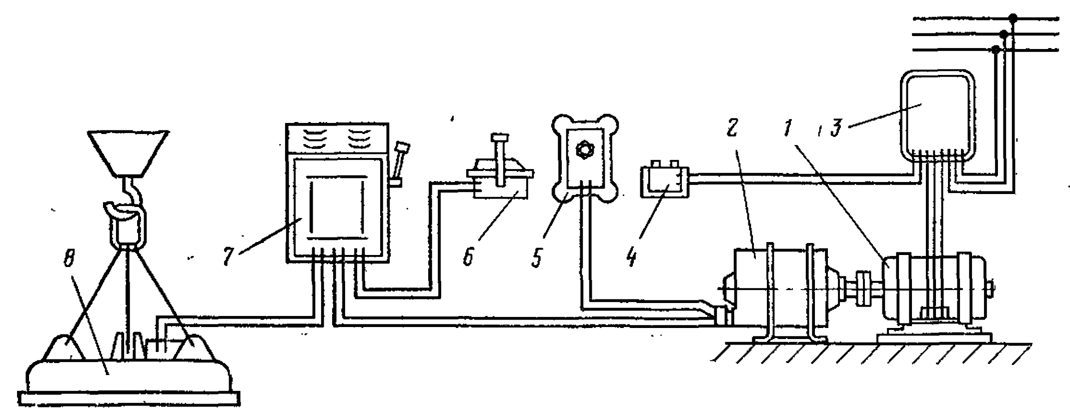


Рис. 6-12. Схема питания грузоподъемного электромагнита на кране при наличии сети переменного тока.

1 — асинхронный электродвигатель; *2* — генератор постоянного тока; *3* — магнитный пускатель; *4* — кнопка управления; *5* — регулятор возбуждения; *6* — командоконтроллер; *7* — магнитный контроллер; *8* — грузоподъемный электромагнит.

табл. 6-9. Там же приведена максимальная мощность, потребляемая электромагнитами и разрядными сопротивлениями.

Большинство кранов с грузоподъемными электромагнитами питаются от сети переменного тока, поэтому для электромагнитов постоянного тока необходимо использовать двигатель-генераторную или выпрямительную установку. На рис. 6-12 показана схема питания грузоподъемного электромагнита от двигатель-генераторной установки. Защита генератора от токов к. з. в кабеле, питающем электромагнит, осуществляется реле напряжения типа РЭВ 84.

Замена вращающихся преобразователей статическими позволяет снизить капитальные затраты, массу электрооборудования и эксплуатационные расходы. Магнитный контроллер типа ПСМ 80 в комплекте с сельсинным командоконтроллером КП 1818 дает возможность регулировать грузоподъемность. Это имеет большое значение при работах, связанных с отделкой, сортировкой, маркировкой и транспортированием листового железа на металлургических заводах, а также на различных складах и базах. Основные технические данные комплекта электрооборудования для магнитов с регулированием грузоподъемности:

Напряжение питания при частоте 50 Гц, В	380
Выпрямленное номинальное напряжение, В	220
Номинальный выпрямленный ток, А	80
Мощность, кВт	17,6
Режим работы, ПВ	50%
Диапазон регулирования тока нагрузки	8

На рис. 6-13 показана схема магнитного контроллера ПСМ 80 со статическим управляемым преобразователем. Преобразователь выполнен по бестрансформаторной трехфазной двухполупериодной схеме с одним тиристором и разрядным диодом. Регулирование тока осуществляется изменением выходного напряжения преобразователя за счет изменения угла открывания тиристора. Угол открывания тиристора зависит от задающего сигнала, который плавно регулируется в широких пределах сельсинным командоконтроллером.

В блоке питания *I* используется трехобмоточный трансформатор. Обмотка 36 В служит для питания релейных элементов, с обмотки 115 В снимается напряжение возбуждения сельсина командоконтроллера. В блок питания входит однофазный выпрямительный мост *Д7—Д10*, на выходе которого установлены стабилитроны *Ст1—Ст3* и балластный резистор *R2*. Стабилизированное напряжение питания релейного элемента 16,4 В снимается со стабилитронов *Ст2* и *Ст3*. При этом через резистор *R3* и базу транзистора *Т1* протекает в прямом направлении ток, открывающий транзистор. Со стабилитрона *Ст1* подается отрицательное смещение (—5,6 В) на базу транзистора *Т2* для запирания его при открытом транзисторе *Т1*.

Блок задания *II* состоит из сельсина, входящего в сельсинный командоконтроллер, и однофазного выпрямительного моста *Д11—Д14*. На вход моста подается линейное напряжение ротора сельсина, изменяющееся при его повороте относительно статора. Поворот ротора осуществляется рукояткой *СКК*. На выходе моста получается изменяющееся выпрямленное напряжение, пропорционально которому изменяется и выходной ток, протекающий при открытом транзисторе *Т1* через его базу и резистор *R6*. Релейный элемент собран на двух транзисторах типа *n-p-n*.

Для обеспечения фазового режима регулирования в схеме предусмотрен источник пилообразного напряжения, представляющий собой цепочку *RC*, которая шунтируется тиристором *Т*. Пока тиристор закрыт, происходит заряд конденсаторов C_4, C_5. Когда тиристор *Т* открывается, происходит быстрый разряд конденсаторов. Пилообразный ток протекает через резистор *R13* и базу транзистора *Т1*.

Сельсинный командоконтроллер имеет одно фиксированное положение (нулевое) и обеспечивает заторможенное состояние в любом промежуточном положении рукоятки управления. При этом каждому положению ротора сельсина соответствует определенное значение тока электромагнита. На позициях регулирования схема с достаточной точностью поддерживает среднее значение тока электромагнита при нагреве его катушки. Допустимые отклонения тока для холодной и горячей катушки не превышают 10%, а максимальное значение тока для нагретой катушки не превышает каталожного значения тока более чем на 5%. При колебаниях напряжения питающей сети в пределах (0,85—1,05) $U_н$ изменение тока электромагнита не выходит за указанные пределы.

Силовая схема коммутации на стороне постоянного тока содержит: двухполюсные контакторы для прямого *КВ* и обратного *КН* включений электромагнита; два реле времени *РВ* и *РП* для управления процессом размагничивания электромагнита при отключении, разрядные резисторы *R19—R22* для ограничения перенапряжения, возникающего при отключении электромагнита; диод *Д4* для уменьшения мощности разрядных резисторов.

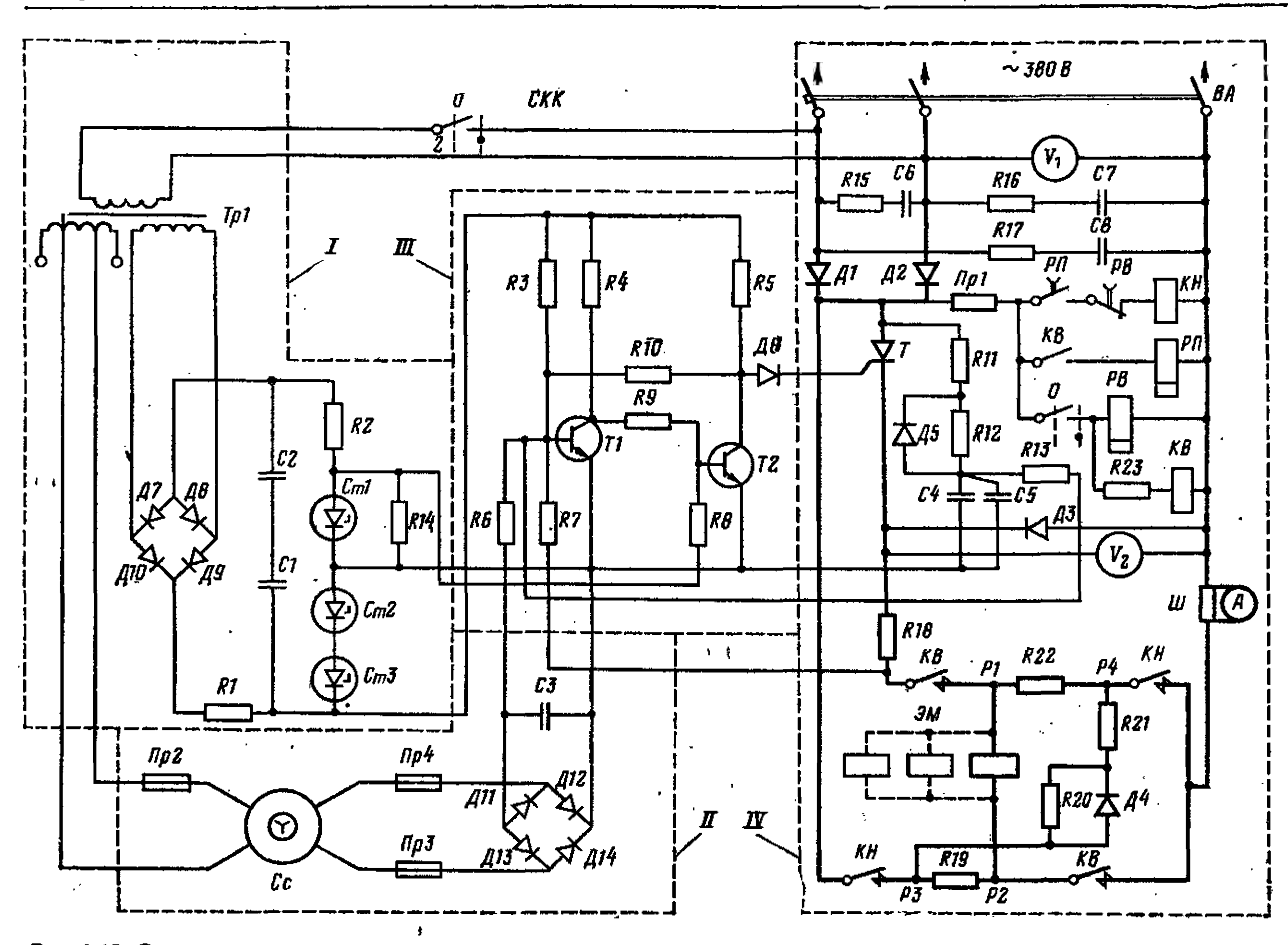


Рис. 6-13. Схема регулирования грузоподъемности электромагнита.

I — блок питания; *II* — блок задания; *III* — релейный элемент; *IV* — силовая схема; *R1—R25* — резисторы; *C1—C8* — конденсаторы; *Ш* — шунт; *ВА* — выключатель автоматический; *Д1—Д16* — диоды; *КВ* и *КН* — контакторы прямого и обратного включений электромагнита (намагничивания и размагничивания); *РВ* и *РП* — реле времени для управления процессом размагничивания; *Пр1—Пр4* — предохранители; *Сс* — сельсин контроллера; *Ст1—Ст3* — стабилитроны; *Т* — тиристор; *Т1, Т2* — транзисторы; *Тр1* — трансформатор; *ЭМ* — электромагнит грузоподъемный; *СКК* — сельсинный командоконтроллер.

При обрыве кабеля, питающего электромагнит, необходимо отключить рубильник или автоматический выключатель магнитного контроллера. Находиться под краном с работающим электромагнитом категорически запрещено. Осмотр и замена аппаратов должны производиться при отключенном вводном рубильнике крана. Все электрические аппараты должны быть надежно заземлены. Особое внимание следует обращать на заземление электромагнита. Болт заземления в коробке электромагнита соединяют с заземляющим болтом

Таблица 6-10

Технические данные электромагнитов новой серии

Тип электромагнита	Грузоподъемность, т			Потребляемая мощность, кВт		Ток обмотки магнита, А		Постоянная времени, с		Индуктивность при работе с соединенным грузом, Гн	Диаметр электромагнита, мм	Масса электромагнита, кг
	отрывная	на плите	на скрапе	в начале работы	в рабочем состоянии	в начале работы	в рабочем состоянии	в начале работы	в рабочем состоянии			
М 02	5,5	1,8	0,25	1,84	1,26	8,3	5,3	0,56	0,35	14,8	520	190
М 12	10,1	3,5	0,80	2,86	1,56	12,8	8,1	0,88	0,56	15,2	650	405
М 22	23,5	7,0	0,75	4,50	2,82	20,4	12,8	1,52	0,96	16,5	800	710
М 42	44,7	16,0	0,95	9,26	5,90	42,1	26,6	3,28	2,08	17,1	1200	2500
М 62В	65,0	20,0	2,00	14,00	8,78	63,5	40,2	4,90	3,12	17,5	1600	4650
М 62ВМ	71,5	22,0	2,50	18,80	11,80	85,0	53,4	7,30	4,55	18,8	1600	5500
М 82	105,0	45,0	3,20	24,10	15,40	110,5	70,2	18,80	11,90	37,5	2000	9800

шкафа магнитного контроллера. Соединение осуществляется одной из жил трехжильного питающего кабеля. В остальном при эксплуатации электрооборудования следует руководствоваться общими правилами безопасности обслуживания электроустановок.

г) Электромагниты новой серии

Согласно анализу условий эксплуатации и запросам отраслей промышленности диапазон грузоподъемности семи типоразмеров круглых электромагнитов новой серии расширен до 1,8—45 т (вместо 6—20 т на старой серии), за номинальный режим работы принят режим ПВ=60% (вместо ПВ=50%). Одновременно с рациональным построением ряда электромагнитов и обеспечением улучшенных тяговых характеристик при минимальных расходах активных материалов и эксплуатационных затратах повышены надежность и долговечность, уменьшена трудоемкость изготовления.

В табл. 6-10 приведены технические данные электромагнитов новой серии.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

РАСЧЕТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И СОПРОТИВЛЕНИЙ РЕЗИСТОРОВ

7-1. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Работа электропривода характеризуется в первую очередь механической характеристикой двигателя $\omega=f(M)$ или $n=f(M)$. Для двигателя постоянного тока также часто используют электромеханические характеристики $\omega=f(I_я)$ или $n=f(I_я)$, которые называются скоростными характеристиками. Здесь ω, n, $I_я$, M — соответственно угловая скорость, частота вращения, ток якоря и момент двигателя. Расчет механических характеристик можно производить как в абсолютных, так и в относительных единицах. Для двигателей постоянного тока наибольшее распространение получил расчет характеристик в относительных единицах.

При расчетах в относительных единицах за базисные величины принимают номинальные данные двигателя $I_н$, $M_н$, $U_н$, $n_н$. Иногда в качестве базисных принимают величины, отличающиеся от номинальных (например, момент статической нагрузки). Величины, выражаемые в относительных единицах, в дальнейшем будут обозначаться со знаком *.

Сопротивления главной цепи в относительных единицах определяют в долях номинального сопротивления. Под номинальным понимают такое сопротивление цепи якоря, которое при неподвижном якоре и номинальном расчетном напряжении $U_н$ обусловливает номинальный ток в якоре:

$$R_н=U_н/I_н.$$

Сопротивление цепи якоря складывается из внутреннего и внешнего сопротивлений. Значения внутреннего сопротивления двигателей серий ДП и Д в долях номинального при ПВ=25% приведены в табл. 7-1. В графе $r_{я*}$ указано сопротивление якоря и дополнительных полюсов двигателей, а в графе $r_{п*}$ — сопротивление последовательной обмотки возбуждения двигателей. Сопротивление стабилизирующих обмоток двигателей параллельного возбуждения настолько мало, что им можно пренебречь. При расчете типовых характеристик для группы двигателей сопротивление обмоток следует определять как среднее арифметическое от значений, приведенных в соответствующих строках табл. 7-1.

Таблица 7-1

Сопротивления обмоток двигателя

Исполнение	Тип двигателя	$r_{я*}$	$r'_{п*}$: Двигатели последовательного возбуждения	$r'_{п*}$: Двигатели смешанного возбуждения
Тихоходные двигатели	ДП12, ДП21, ДП22	0,09	0,035	0,008
	ДП31, ДП32	0,07	0,022	
	ДП41, ДП42	0,05	0,018	
	ДП52	0,03	0,021	0,0045
	ДП62, ДП72	0,025	0,016	
	ДП82, ДП92	0,02	0,01	
Быстроходные двигатели	ДП21, ДП22	0,06	0,03	0,008
	ДП31, ДП32	0,04	0,025	
	ДП41, ДП42	0,03	0,017	0,0055
	ДП52	0,022	0,016	
	ДП82А	0,014	0,01	
Тихоходные двигатели	Д806	0,043	0,022	—
	Д808, Д810, Д812	0,026	0,014	—
	Д814, Д816, Д818	0,016	0,009	—
Быстроходные двигатели	Д806	0,025	0,014	—
	Д808	0,02		—

Расчет механических характеристик двигателей в относительных единицах представлен ниже в виде универсального метода. Этот метод пригоден для различных способов возбуждения и соединения обмоток.

В общем случае схема включения двигателя изображена на рис. 7-1, на котором показаны три варианта (*1, 2, 3*) включения последовательной обмотки возбуждения. Токи в этих обмотках обозначены через $I_{п1}$, $I_{п2}$, $I_{п3}$.

Параллельная обмотка возбуждения в общем случае получает питание от независимого источника с напряжением $U_в$.

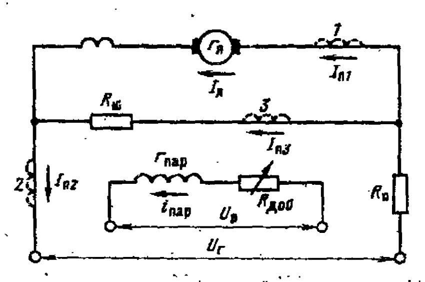


Рис. 7-1. Типовая схема включения двигателя постоянного тока.

При расчете механических характеристик, как правило, известны: схема включения последовательной обмотки, сопротивления последовательной и шунтирующей цепей $R_п$ и $R_ш$, напряжение источника питания цепи якоря (главной цепи) $U_г$, м. д. с. параллельной обмотки возбуждения и соотношение между м. д. с. последовательной и параллельной обмоток при номинальной нагрузке.

Напряжение $U_г$ может иметь независимое от нагрузки значение $U_г$=const (сеть постоянного тока). В случае применения вращающихся или статических преобразователей энергии задается внешняя характеристика этих преобразователей $U_г=f(I)$ (I — ток нагрузки) Методика расчета внешних характеристик приведена в § 7-2 и 7-3.

Магнитодвижущая сила главных полюсов двигателя определяется суммарным действием обмоток возбуждения, расположенных на этих полюсах. Поскольку номинальная м. д. с., принятая за базисную, складывается из м. д. с. обмотки параллельного возбуждения и м. д. с. последовательной или стабилизирующей обмотки, то можно принять, что м. д. с. обмотки параллельного возбуждения $F_{пар*}$ в относительных единицах будет составлять: 0,7 для двигателей серии ДП и Д смешанного возбуждения тихоходных и 0,65 для быстроходных; для двигателей серий ДП и Д параллельного возбуждения 0,9.

Соответственно на долю обмотки последовательного возбуждения или стабилизирующей будет приходиться остальная часть м. д. с. Учитывая, что эта часть соответствует значению м. д. с. при протекании номинального тока, то для любых значений тока м. д. с. последовательной обмотки можно выразить в виде следующих формул:

для двигателей серии ДП и Д смешанного возбуждения тихоходного исполнения

$$F_{п*}=0{,}3I_{п*}; \qquad (7\text{-}1)$$

для тех же двигателей быстроходного исполнения

$$F_{п*}=0{,}35I_{п*}, \qquad (7\text{-}2)$$

где $I_{п*}$ — ток, протекающий по последовательной обмотке;

для двигателей параллельного возбуждения со стабилизирующей обмоткой серии ДП и Д

$$F_{п*}=0{,}1I_{п*}. \qquad (7\text{-}3)$$

Полная м. д. с. главных полюсов выражается в виде алгебраической суммы м. д. с. последовательной и параллельной обмоток:

$$F_*=F_{пар*}+F_{п*}. \qquad (7\text{-}4)$$

В некоторых случаях для реализации повышенных (пониженных) частот вращения двигателей м. д. с. параллельной обмотки берется меньше (больше) номинальной. При этом м. д. с. последовательной и стабилизирующей обмоток подсчитываются по (7-1)—(7-3).

Общий метод расчета механической характеристики двигателей постоянного тока в рассматриваемой схеме (рис. 7-1) включения заключается в нахождении зависимостей $F_*=f(I_{я*})$ и $I_{п*}=f(I_{я*})$ и последующем переходе к зависимости $n_*=f(M_*)$.

Зависимость тока в последовательной обмотке от тока якоря двигателя для схемы, приведенной на рис. 7-1, устанавливают по одному из следующих уравнений

$$I_{п1}=I_я; \qquad (7\text{-}5)$$

$$I_{п2}=\frac{U_г+I_я R_ш}{r_п+R_ш+R_п}; \qquad (7\text{-}6)$$

$$I_{п.3}=\frac{U_г-I_я R_п}{r_п+R_ш+R_п}, \qquad (7\text{-}7)$$

каждое из которых справедливо при наличии последовательной обмотки возбуждения только в одной цепи.

Соответственно зависимость э. д. с. от тока якоря определяют по одной из следующих зависимостей:

$$E_1=\frac{U_г-I_я R_п}{R_п+R_ш}R_ш-I_я(r_я+r_п); \qquad (7\text{-}8)$$

$$E_2=\frac{U_г-I_я(R_п+r_п)}{R_п+r_п+R_ш}R_ш-I_я r_п; \qquad (7\text{-}9)$$

$$E_3=\frac{U_г-I_я R_п}{R_п+r_п+R_ш}(R_ш+r_п)-I_я r_я. \qquad (7\text{-}10)$$

Частоту вращения n при заданном токе якоря вычисляют по формуле

$$n=E/c_E\Phi,$$

где Φ — магнитный поток двигателя; c_E — коэффициент пропорциональности.

Для получения уравнений в относительных единицах введем следующие базисные величины:

$$n_б=n_н;\quad I_б=I_н;\quad E_б=U_н;\quad \Phi_б=\Phi_н;\quad R_б=R_н.$$

Используя соотношения

$$c_E\Phi_н n_н=U_н-I_н r_{дв};$$

$$c_E\Phi_н n_0=U_н,$$

где $r_{дв}=r_я+r_п$; n_0 — частота вращения идеального холостого хода, можно записать выражение

$$n_н/n_0=c'_E,$$

в котором обозначено

$$c'_E=1-r_{дв*}. \qquad (7\text{-}11)$$

При этом формулу для определения частоты вращения в относительных единицах запишем в виде

$$n_*=E_*/c'_{E*}\Phi_*=E_*/\Phi_*(1-r_{дв*})$$

или, так как в относительных единицах $\Phi_*=(E/n)_*$,

$$n_*=\frac{E_*}{(E/n)_*(1-r_{дв*})}. \qquad (7\text{-}12)$$

Магнитный поток Φ_* для соответствующего тока якоря при известной м. д. с. главных полюсов ($F_*=F_{пар*}+F_{п*}$) определяют по универсальным нагрузочным характеристикам. Нагрузочной характеристикой называется зависимость $(E/n)_*=f(F_*)$ при постоянном токе якоря $I_{я*}$. Так как форма нагрузочных характеристик зависит от тока якоря, то они изображаются в виде семейства кривых, построенных при различных значениях $I_я$. Характеристика при $I_я=0$ является кривой намагничивания двигателя.

На рис. 7-2 показаны универсальные характеристики двигателей серий ДП и Д. Характеристики изображены в относительных единицах. За базисные величины приняты номинальная м. д. с. главных полюсов двигателя при $ПВ=25\%$, и номинальное значение потока Φ главных полюсов при протекании по якорю двигателя номинального тока $I_я$ для $ПВ=25\%$ в направлении, соответствующем двигательному режиму. Типовые нагрузочные характеристики соответствуют действительным нагрузочным характеристикам конкретных двигателей серий ДП и Д, отличаясь от характеристик, полученных на основе опыта, на 2—3%.

Электромагнитный момент двигателя, Н·м, определяют по формуле

$$M = c_M I_я \Phi,$$

где c_M — коэффициент пропорциональности.

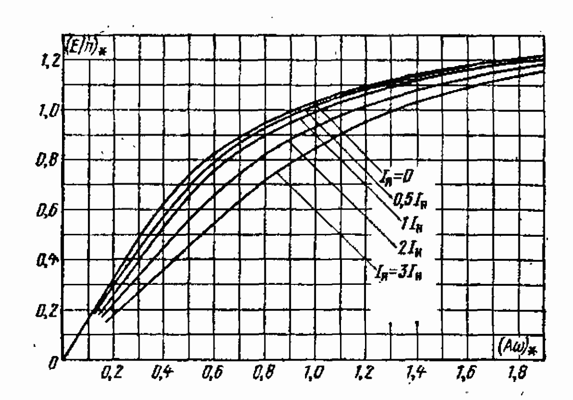


Рис. 7-2. Универсальные нагрузочные характеристики двигателей серий ДП и Д.

Вращающий момент на валу двигателя отличается от электромагнитного на значение, определяемое механическими потерями и потерями в железе якоря. Таким образом, момент на валу двигателя может быть представлен в следующем виде:

$$M_{дв} = c_M I_я \Phi - k_M \frac{\Delta P + \Delta P_{ст}}{n}, \qquad (7\text{-}13)$$

где ΔP — потери на трение; $\Delta P_{ст}$ — потери в стали; k_M — коэффициент пропорциональности.

Параметр $\Delta M_* = k_{M_*} \dfrac{\Delta P_* + \Delta P_{ст*}}{n_*}$ определяют по кривым, выражающим зависимость $\Delta M_* = f(E/n)_*$ при различных постоянных значениях частоты вращения n_*. Такие кривые, построенные в относительных единицах, показаны на рис. 7-3. Пользуясь этими кривыми, нетрудно найти момент ΔM_* при различных потоках главных полюсов и частотах вращения. Коэффициент пропорциональности c_M можно определить, исходя из следующих соображений, при базисных токе, потоке и частоте вращения, момент на валу двигателя также должен быть равен базисному (номинальному). Следовательно, пользуясь (7-13), можно написать, что при $M_{дв} = M_б = M_н$

$$1 = c_{M_*} - k_{M_*} \frac{\Delta P_* + \Delta P_{ст*}}{n_*}.$$

Определив по рис. 7-3 значение ΔM_* для $(E/n)_* = 1$ и $n_* = 1$, а именно $\Delta M_* = 0{,}03$, найдем c_{M*}:

$$c_{M_*} = 1 + 0{,}03 = 1{,}03.$$

Окончательно формула для определения моментов на валу имеет вид:

$$M_{дв*} = 1{,}03 I_{я*} (E/n)_* - \Delta M_*. \qquad (7\text{-}14)$$

Рассмотренный метод может быть применен и для расчета характеристик в абсолютных единицах. Однако при расчетах в абсолютных единицах необходимо иметь нагрузочную характеристику данного двигателя, построенную в абсолютных единицах. Такие характеристики не всегда известны и поэтому можно рекомендовать их построение с помощью универсальных нагрузочных характеристик.

Для того чтобы построить нагрузочные характеристики в абсолютных единицах в виде зависимости $E/n = f(F)$, следует поток в относительных единицах $(E/n)_*$

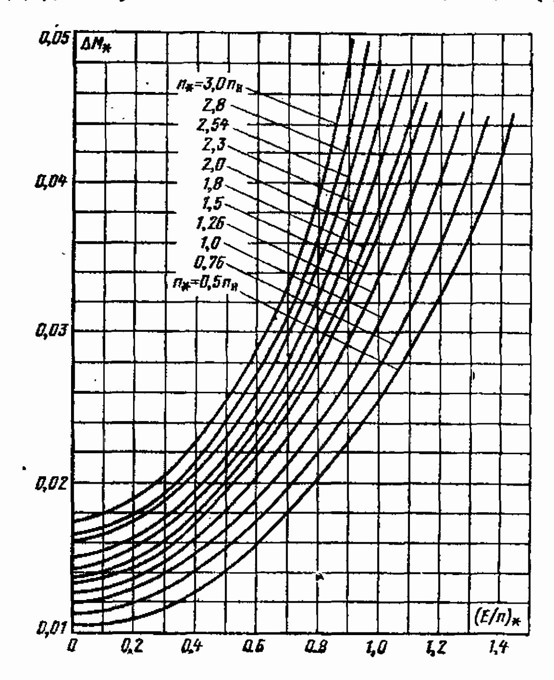


Рис. 7-3. Зависимости $\Delta M_* = f(E/n)_*$.

перевести в размерную величину E/n, пользуясь формулой

$$E/n = (E/n)_* \frac{(U_н - I_н r_{дв})(1 - r_{дв*})}{n_н}, \qquad (7\text{-}15)$$

где $(F/n)_*$ — поток главных полюсов в относительных единицах (см. рис. 7-2); $I_н$, $n_н$ — номинальные данные двигателя при $U_н$; $r_{дв}$ и $r_{дв*}$ — сопротивления главной цепи двигателя в абсолютных и относительных единицах.

За базисную величину м. д. с. F принимается номинальное значение м. д. с. для данного двигателя.

Значения ΔM можно брать из соответствующих кривых, получаемых на основе испытаний машин. При отсутствии таких кривых можно рекомендовать вычисление момента на валу двигателя, Н·м, по следующей формуле:

$$M = 9{,}55 I_я E/n - \left[4{,}22 (E/n)^2 \sqrt{n} + 0{,}245 M_н\right], \qquad (7\text{-}16)$$

где $M_н$ — номинальный момент при $ПВ = 25\%$.

7-2. РАСЧЕТ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В ряде крановых электроприводов для питания двигателей постоянного тока применяются системы с питанием от индивидуальных генераторов с одной, двумя или тремя обмотками возбуждения (системы Г—Д). Форма механических характеристик электропривода в системе Г—Д при постоянном потоке двигателя, как

правило, определяется внешней характеристикой генератора $U_г=f(I_г)$, зависящей в свою очередь от закона изменения его м. д. с. возбуждения.

а) Внешние характеристики трехобмоточного генератора

Трехобмоточный генератор имеет три обмотки возбуждения: независимую, параллельную (самовозбуждения) и последовательную. Схема включения обмоток генератора в системе электропривода показана на

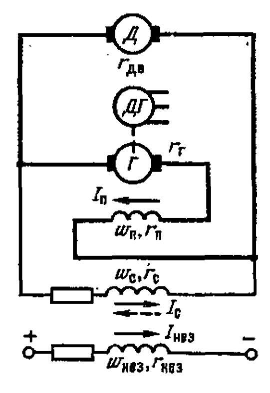


Рис. 7-4. Схема включения обмоток трехобмоточного генератора.

рис. 7-4. Генератор вращается двигателем ДГ с постоянной частотой вращения $n_г$.

Внешняя характеристика генератора определяется выражением

$$U_г = E_г - I_г (r_{я.г} + r_{п.г}), \qquad (7\text{-}17)$$

где $E_г$ — э. д. с. генератора; $r_{я.г}$ — сопротивление обмоток якоря и добавочных полюсов; $I_г$ — ток нагрузки генератора; $r_{п.г}$ — сопротивление последовательной обмотки возбуждения генератора.

В свою очередь $E_г$ определяется по формуле

$$E_г = c_E \Phi n_г = \frac{1}{60 \cdot a}\frac{pN}{} \Phi n_г.$$

На основании этой формулы и характеристики намагничивания $\Phi=f(F)$ генератора строится зависимость $E_г=f(F)$ в режиме холостого хода. При расчете внешних характеристик генератора влияние реакции якоря не учитывается. Пренебрежение ее действием не вносит существенной ошибки в расчеты.

Электродвижущая сила генератора при работе на нагрузку определяется результирующей м. д. с. возбуждения F:

$$F = F_{нез} \pm F_с - F_п = I_{нез} w_{нез} \pm I_с w_с - I_п w_п, \qquad (7\text{-}18)$$

где $F_{нез}$, $F_с$, $F_п$ и $w_{нез}$, $w_с$, $w_п$ — м. д. с. и числа витков обмотки независимого возбуждения, параллельной обмотки (самовозбуждения) и последовательной обмотки.

Обмотка последовательного возбуждения, включенная встречно независимой обмотке, предназначена для ограничения э. д. с. генератора и, следовательно, уменьшения скорости двигателя при увеличении нагрузки. Такое включение соответствует, как правило, двигательному режиму работы двигателя Д.

Обмотка параллельного возбуждения включается встречно или согласно с независимой обмоткой, что определяется требованием получения необходимой жесткости внешней характеристики генератора, определяемой производной $dI_г/dU_г$.

При идеальном холостом ходе ($I_п=0$) результирующая м. д. с. определяется действием только двух обмоток — независимой и параллельной:

$$F_0 = F_{нез} \pm F_{с0} = I_{нез} w_{нез} \pm I_{с0} w_с, \qquad (7\text{-}19)$$

где $I_{с0}$ — ток в обмотке самовозбуждения при холостом ходе.

С увеличением тока нагрузки $I_п$ растет размагничивающее действие последовательной обмотки [см. (7-18)]. Одновременно уменьшается м. д. с. обмотки самовозбуждения, так как понижается напряжение на ее выводах. Это приводит к уменьшению э. д. с. генератора, а следовательно, и скорости двигателя Д. По достижении током нагрузки тока стопорения (тока короткого замыкания) $I_к$ происходит полная остановка двигателя.

Для крановых электроприводов ток стопорения при стоянке двигателя выбирается равным не более $2I_н$ генератора. При изменении направления тока $I_п$ генератор начинает работать двигателем, а двигатель, вращающий генератор, генератором, отдавая энергию в сеть. Результирующая м. д. с. для этого случая запишется в виде

$$F = F_{нез} \pm F_с + F_п = I_{нез} w_{нез} \pm I_с w_с + I_п w_п. \qquad (7\text{-}20)$$

С увеличением тока нагрузки $I_п$ растет намагничивающее действие последовательной обмотки. Одновременно увеличивается м. д. с. обмотки самовозбуждения вследствие увеличения напряжения на ее зажимах. В результате э. д. с. генератора возрастает.

б) Методика расчета внешних характеристик

Расчет внешней характеристики генератора наиболее просто осуществляется графическим методом. Расчет характеристик для двух случаев: 1) $F=F_{нез}+F_с\pm F_п$ (рис. 7-5); 2) $F=F_{нез}-F_с\pm F_п$ (рис. 7-6) проводится в такой последовательности.

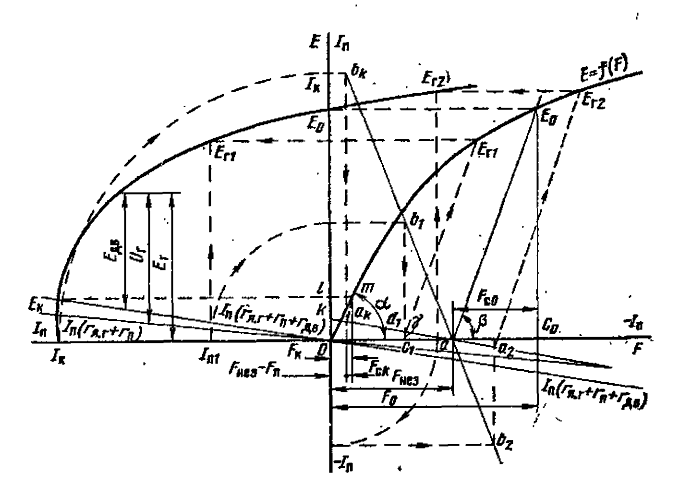


Рис. 7-5. Построение внешней характеристики генератора для $F=F_{нез}+F_с\mp F_п$.

1. Из условий работы системы задаются: значением э. д. с. генератора E_0, соответствующим частоте вращения идеального холостого хода двигателя, и значением тока стопорения $I_к$.

2. По характеристике намагничивания $E=f(F)$, построенной в первом квадранте, определяют м. д. с. F_0 (соответствует э. д. с. E_0).

3. Заданное значение тока стопорения откладывают влево по оси абсцисс, а э. д. с. генератора при этом токе $E_к$ — по оси ординат в соответствии с выражением

$$E_к = I_к (r_{я.г} + r_{дв} + r_п), \quad (7\text{-}21)$$

где $r_{я.г}$ и $r_{дв}$ — сопротивление якорных цепей соответственно генератора и двигателя; $r_п$ — сопротивление последовательной обмотки генератора.

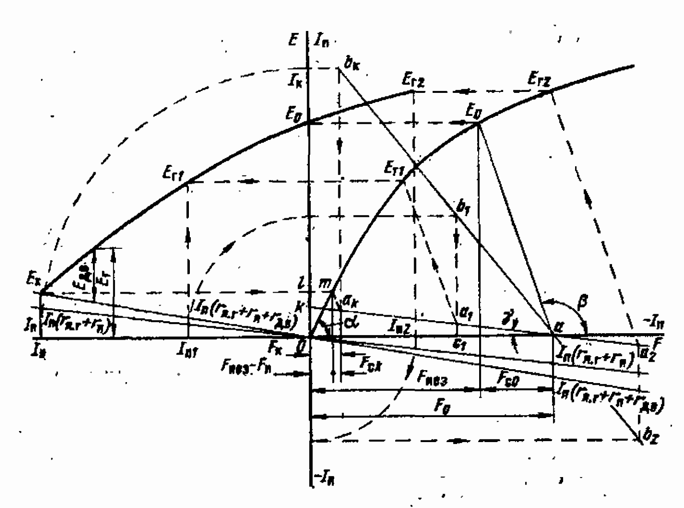


Рис. 7-6. Построение внешней характеристики генератора для $F = F_{нез} - F_с \mp F_п$.

4. Значение $E_к$ сносят в точку m характеристики намагничивания. Отрезок lm определяет м. д. с. генератора при токе $I_к$, равную $F_к = F_{нез} - F_п \pm F_с$.

5. По значениям E_0, F_0, $F_к$, $I_к$, $E_к$ определяют м. д. с. обмотки самовозбуждения $F_{с0}$:

$$F_{с0} = \frac{E_0 (F_0 - F_к - I_к w_п)}{E_0 - E_к + I_к (r_{я.г} + r_п)}. \quad (7\text{-}22)$$

6. Определяют м. д. с. независимой обмотки возбуждения

$$F_{нез} = F_0 - F_{с0} \quad (7\text{-}23)$$

и ее значение откладывают по оси F — отрезок Oa.

7. Из точки a проводят прямую aE_0, характеризующую сопротивление цепи обмотки самовозбуждения, и прямую ak, характеризующую падение напряжения в цепи якоря генератора $I_п(r_{я.г}+r_п)$. Наклон прямой ak определяется угловым коэффициентом $\operatorname{tg}\gamma$:

$$\operatorname{tg}\gamma = I_п (r_{я.г} + r_п)/I_п w_п = (r_{я.г} + r_п)/w_п. \quad (7\text{-}24)$$

Построение прямой ak необходимо для учета размагничивающего (намагничивающего) действия последовательной обмотки и учета уменьшения (увеличения) м. д. с. обмотки самовозбуждения при понижении (повышении) напряжения на зажимах этой обмотки за счет падения напряжения $I_п(r_{я.г}+r_п)$. Действительно, при каком-то токе $I_{п1}$ отрезок ac_1 определит $I_{п1}w_п$, а отрезок a_1c_1 — падение напряжения $I_{п1}(r_{я.г}+r_п)$.

8. Из точки m проводят прямую, параллельную вольт-амперной характеристике контура обмотки самовозбуждения aE_0 до пересечения в точке $a_к$ с прямой ak. Через точку $a_к$ проводят линию, параллельную оси ординат, которая определит на оси абсцисс отрезок, представляющий м. д. с. обмотки параллельного возбуждения $F_{ск}$ при токе стопорения $I_к$.

9. На оси ординат в соответствующем масштабе откладывают ток стопорения $I_к$ и сносят на вертикаль, проведенную через точку $a_к$. Получающуюся при этом точку $b_к$ соединяют прямой с точкой a на оси абсцисс. Для определения э. д. с. генератора при токе $I_{п1}$ его значение откладывают на оси ординат, проводят прямую, параллельную оси абсцисс до пересечения с прямой $b_кa$ в точке b_1. На оси абсцисс находят отрезок ac_1, определяющий размагничивающую м. д. с. последовательной обмотки, при токе $I_{п1}$. Значение э. д. с. $E_{г1}$ находим, проведя из точки a_1 пересечения вертикали b_1c_1 с прямой ak линию $a_1E_{г1}$, параллельную вольт-амперной характеристике контура обмотки параллельного возбуждения.

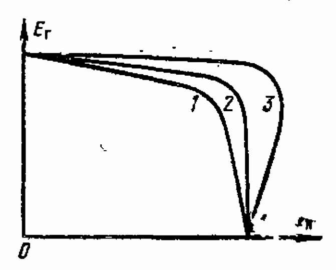


Рис. 7-7. Вид характеристики $E_г = f(I_п)$ в зависимости от соотношения углов α и β.

Аналогично описанному определяют $E_г$ для других значений тока $I_п$. Найденные значения э. д. с. переносят во второй квадрант при положительных значениях тока $I_п$ и в первый при отрицательных. Если через начало координат провести прямую $E = I_п(r_{я.г}+r_п)$, характеризующую падение напряжения в цепи якоря генератора, то разность соответствующих ординат кривой $E_г = f(I_п)$ и прямой $E = I_п \cdot (r_{я.г}+r_п)$ определит внешнюю характеристику генератора $U_г = f(I_п)$. Одновременно разность соответствующих ординат кривой $E_г = f(I_п)$ и прямой $E = I_п(r_{я.г}+r_п+r_{дв})$ определит зависимость э. д. с. двигателя $E_{дв} = f(I_п)$.

Форма внешней характеристики генератора зависит от соотношения двух углов: α, характеризующего наклон начальной части характеристики холостого хода, и β, определяемого характеристикой цепи параллельной обмотки. Изложенная методика позволяет произвести построение для любых соотношений углов: $\alpha<\beta$; $\alpha=\beta$; $\alpha>\beta$. В последнем случае точка a_k на прямой ak оказывается слева от характеристики холостого хода. Если $\alpha>\beta$, то получается кривая $E_г = f(I_п)$, напоминающая внешнюю характеристику генератора с параллельной обмоткой, не обеспечивающую устойчивую работу.

На рис. 7-7 для иллюстрации приведены зависимости $E_г = f(I_п)$ при $\alpha<\beta$ (кривая 1), при $\alpha=\beta$ (кривая 2) и при $\alpha>\beta$ (кривая 3).

Расчет внешних характеристик генератора не меняется и при измененной м. д. с. последовательной обмотки (которая в этом случае шунтируется резистором $R_п$). Меняется только выражение (7-22) для определения м. д. с. $F_{с0}$:

$$F_{с0} = \frac{E_0 \left(F_0 - F_к - \frac{I_к R_п}{R_п + r_п} w_п\right)}{E_0 - E_к + I_к \left(r_{я.г} + \frac{r_п R_п}{r_п + R_п}\right)}. \quad (7\text{-}25)$$

Уменьшение м. д. с. последовательной обмотки при неизменных значениях м. д. с. других обмоток приводит к увеличению тока стопорения $I_к$.

в) Внешние характеристики двух- и однообмоточных генераторов

Расчет внешних характеристик двухобмоточных генераторов (с независимой и последовательной обмотками) упрощается по сравнению с расчетом характеристик трехобмоточного генератора, поскольку исключается обмотка параллельного возбуждения. После построения характеристики $E=f(F)$, определения м. д. с. независимой обмотки $F_{нез}$ (по заданному значению E_0) и построения прямой $b_k a$ (прямая ak в этом случае не строится) порядок расчета внешних характеристик остается таким же, как и для трехобмоточного генератора.

Расчет внешних характеристик генераторов с независимым возбуждением производится на основе известных кривых намагничивания $\Phi=f(F)$, которые перестраиваются в кривые $E=f(F)$. Каждому значению тока возбуждения генератора $I_в=F/w$ соответствует определенное значение его э. д. с. и, следовательно, своя внешняя характеристика. Для расчета внешней характеристики задаются значением э. д. с. холостого хода генератора E_0.

Напряжение генератора при изменении тока нагрузки $I_г$ будет изменяться согласно выражению $U_г=E_0 \pm I_г r_{я.г}$, где $r_{я.г}$ — сопротивление якорной цепи генератора. Знак + относится к случаю, когда генератор переходит в двигательный режим работы. Внешние характеристики имеют линейный характер.

Применяя для питания обмотки возбуждения специальный источник с регулируемым напряжением (магнитный усилитель или ТП), можно получить практически любую форму внешней характеристики генератора.

7-3. РАСЧЕТ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ СТАТИЧЕСКИХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

а) Общие положения

Расчет механических характеристик $n=f(M)$ электродвигателей постоянного тока, получающих питание от ТП, заключается в основном в определении внешних характеристик ТП, т. е. зависимостей среднего значения выпрямленного напряжения от среднего значения выпрямленного тока $U_d=f(I_d)$. Для ТП существует семейство внешних характеристик, соответствующих различным углам регулирования α.

Внешние характеристики ТП можно разделить на две зоны:

непрерывного и прерывистого тока. Соотношение между этими зонами меняется в зависимости от схемы построения ТП, числа фаз, угла α, характера нагрузки (наличие в ней э. д. с., а также пассивных элементов цепи — омического сопротивления, индуктивности). Диаграммы напряжения и тока ТП в указанных двух режимах показаны на рис. 7-8 применительно к трехфазной нулевой схеме выпрямления.

б) Внешние характеристики в зоне непрерывного тока

В общем виде зависимость выпрямленного напряжения от тока нагрузки в зоне непрерывного тока определяется выражением

$$U_d = U_{d0}\cos\alpha \mp \Delta U_{в0} \mp \left[\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_ф + R_ф\left(1-\frac{\gamma m}{4\pi}\right)\right] I_d, \qquad (7\text{-}26)$$

где U_{d0} — максимальное выпрямленное напряжение преобразователя при $\alpha=0$: $U_{d0}=\frac{U_{фm}\, m}{\pi}\sin\frac{\pi}{m}$;

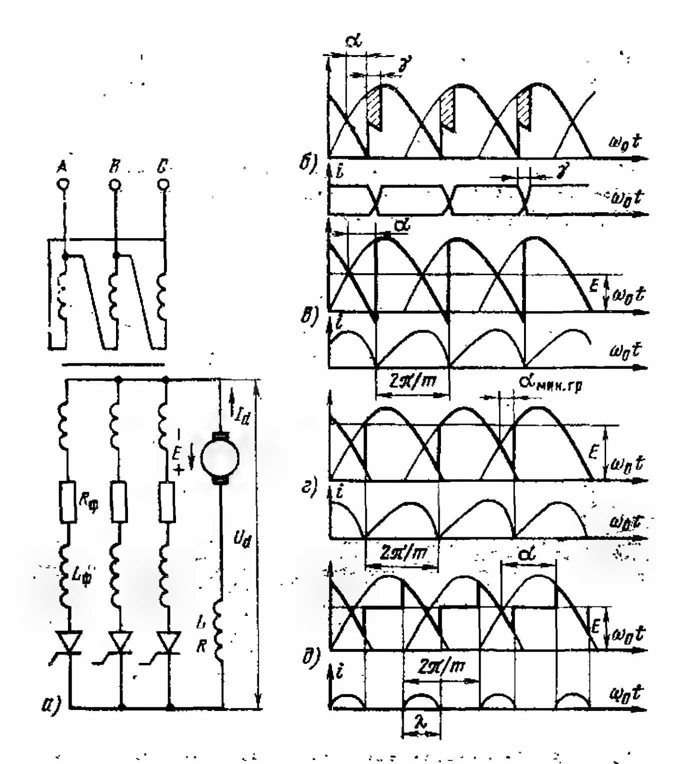


Рис. 7-8. Трехфазная нулевая (а) схема выпрямления ТП и диаграммы напряжения и тока в непрерывном (б), граничном (в), граничном при минимально возможном угле регулирования (г) и прерывистом (д) режимах.

$\Delta U_{в0}$ — падение напряжения в вентилях; γ — угол коммутации, характеризующий процесс переключения вентилей, когда в проводящем состоянии оказываются две фазы преобразователя; m — число фаз выпрямителя или тактов (пульсаций) выпрямленного напряжения за цикл; ω_0 — угловая частота питающего напряжения; $U_{фm}$ — амплитудное значение фазного напряжения на выходе вторичной обмотки трансформатора; $R_ф$ — активное сопротивление фазы трансформатора, анодных делителей и соединительных проводов; $L_ф$ — индуктивность фазы, учитывающей рассеяние трансформатора, делителей тока и индуктивность соединительных проводов. В (7-26) знак — относится к выпрямительному, а знак + к инверторному режимам работы ТП.

Угол коммутации γ определяется из выражения

$$\cos\alpha - \cos(\alpha+\gamma) = \frac{m}{\pi}\frac{\omega_0 L_ф I_d}{U_{d0}}. \qquad (7\text{-}27)$$

Так как угол коммутации зависит от тока ТП I_d, то внешняя характеристика ТП является по существу нелинейной. Однако учитывая, что относительное значение $R_ф$ невелико по сравнению с индуктивным сопротивлением $\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_ф$, а также то, что, как правило, $\gamma \ll \frac{4\pi}{m}$, можно без ущерба для точности расчета пользоваться упрощенным выражением

$$U_d = U_{d0}\cos\alpha \mp \Delta U_{в0} \mp \left(\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_ф + R_ф\right) I_d. \qquad (7\text{-}28)$$

Выражение $\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_ф$ проявляет себя как эквивалентное активное сопротивление ТП, несмотря на то что сопротивление $L_ф$ носит индуктивный характер. Физически это объясняется тем, что наличие индуктивностей $L_ф$ в фазах приводит в результате перекрытия вентилей к уменьшению среднего значения напряжения ТП, что воспринимается внешней цепью как результат падения напряжения на некотором активном сопротивлении, находящемся внутри ТП. В соответствии с (7-28) внешние характеристики ТП $U_d=f(I_d)$ при $\alpha=$ =const представляют собой прямые линии (7-9, *а*).

Однако линейный вид характеристик во всем диапазоне нагрузок (от холостого хода до короткого замыкания) свойствен только однофазным выпрямителям. На рис. 7-9, *б* показаны внешние характеристики однофазной двухполупериодной схемы со средней точкой. Для трехфазных же схем наклон внешних характеристик остается практически неизменным, пока угол коммутации не достигнет некоторого критического значения. Для трехфазной мостовой схемы таким углом является $\gamma=\pi/3$, который получается обычно при нагрузке, в несколько раз превышающей номинальную. При дальнейшем увеличении тока меняется характер коммутации, и внешняя характеристика приобретает вид характеристики, изображенной на рис. 7-9, *в*. На характеристиках рис. 7-9 ток по оси абсцисс откладывается в долях тока к. з.

Уравнение (7-27) справедливо лишь в диапазоне изменения угла регулирования, для которого имеет место неравенство

$$\alpha < \pi-(\gamma+\delta),$$

где δ — угол запаса при инвертировании, соответствующий времени полного восстановления запирающих свойств вентиля после его закрытия и учитывающий наиболее возможное значение асимметрии импульсов управления.

Максимальное значение угла регулирования, при котором еще возможно безопасное инвертирование, равно:

$$\alpha_{макс}=\pi-(\gamma+\delta).$$

Предельный режим инвертирования при этом характеризуется выражением

$$U_d=-U_{d0}\cos\delta+\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_ф I_d, \qquad (7\text{-}29)$$

связывающим при заданном δU_d и I_d.

Внешние характеристики управляемых выпрямителей вследствие увеличенного падения напряжения, вызванного главным образом индуктивным падением напряжения в трансформаторе или реакторах, имеют больший наклон (меньшую жесткость) по сравнению с характеристиками системы Г — Д (с генератором независимого возбуждения).

в) Внешние характеристики в зоне прерывистого тока

Внешние характеристики ТП значительно изменяются в зоне прерывистых токов. Прерывистый ток появляется при относительно малых нагрузках, когда из-за ограниченной индуктивности нагрузки невозможно поддержать непрерывный ток. Диаграммы напряжения и тока ТП в режиме прерывистого тока показаны на рис. 7-8, *д*.

В интервале $2\pi/m-\lambda$ (где λ — длительность проводящего состояния вентиля), ток на выходе равен нулю, а мгновенное напряжение на выводах ТП становится равным э. д. с. нагрузки.

Если принять λ за расчетный параметр, то внешняя характеристика ТП в зоне прерывистых токов описывается двумя уравнениями

$$U_d=U_{d0}\frac{1}{\lambda}\left[\sin\left(\lambda+\alpha-\frac{\pi}{m}\right)-\sin\left(\alpha-\frac{\pi}{m}\right)\right]; \qquad (7\text{-}30)$$

$$I_d=\frac{m}{\pi}\frac{U_{d0}}{\omega_0(L+L_ф)}\sin\frac{\lambda}{2}\sin\left(\frac{\lambda}{2}-\frac{\pi}{m}+\lambda\right)\times\left(1-\frac{\lambda}{2}\operatorname{ctg}\frac{\lambda}{2}\right). \qquad (7\text{-}31)$$

При I_d, стремящемся к нулю, U_d стремится к определенному пределу. При $\alpha\leqslant\pi/m$ этот предел равен амплитуде вторичного напряжения трансформатора, а при $\alpha>\pi/m$ — значению мгновенного напряжения в момент отпирания вентиля.

Между режимами непрерывного и прерывистого токов существует граничный режим, когда $\lambda=2\pi/m$. При подстановке этого значения λ в (7-30) и (7-31) получаем:

$$U_{dгр}=U_{d0}\cos\alpha-\Delta U_{в0}; \qquad (7\text{-}32)$$

$$I_{dгр}=\frac{U_{d0}\sin\alpha}{\omega_0(L+L_ф)}\left(1-\frac{\pi}{m}\operatorname{ctg}\frac{\pi}{m}\right). \qquad (7\text{-}33)$$

Полученные выражения представляют собой уравнения эллипса, дуга которого является геометрическим местом точек внешней характеристики. Формула (7-33) справедлива лишь в определенном диапазоне изменения угла управления α, зависящем от числа фаз ТП. При некотором минимальном значении угла $\alpha_{мин.гр}$ напряжение U_d оказывается равным мгновенному фазному напряжению вентиля, вступающего в работу (рис. 7-8, *г*). При значениях углов, меньших $\alpha_{мин.гр}$, возможен лишь прерывистый режим тока.

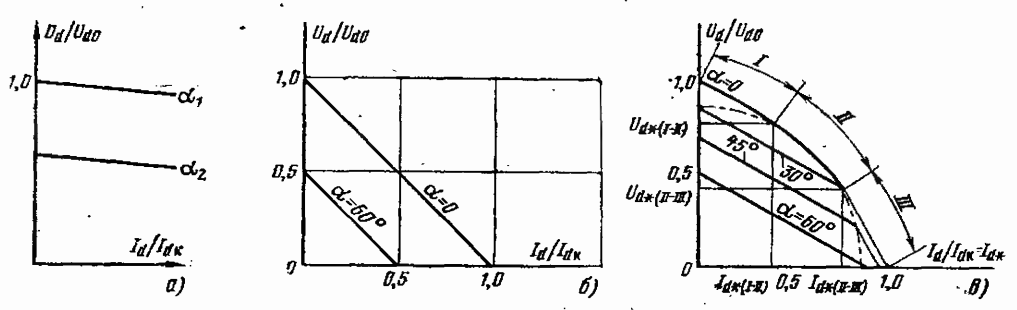


Рис. 7-9. Внешние характеристики ТП.

а — зависимость $U_d/U_{d0}=f(I_d/I_{dк})$ в выпрямительном режиме; *б* — зависимость $U_d/U_{d0}=f(I_d/I_{dк})$ для однофазной двухполупериодной схемы со средней точкой; *в* — зависимость $U_d/U_{d0}=f(I_d/I_{dк})$ для трехфазной мостовой схемы.

Для ТП с разным числом фаз $\alpha_{\text{мин.гр}}=32°30'$ при $m=2$; $20°40'$ при $m=3$; $10°05'$ при $m=6$.

г) Методы расчета внешних характеристик в зоне прерывистого тока

Расчет внешних характеристик ТП аналитическим путем по (7-30) и (7-31) сложен, поскольку требует знания параметра λ, являющегося функцией угла управления α и параметров цепи нагрузки. Более простым является графоаналитический метод расчета, основанный на использовании универсальных характеристик ТП $\frac{U_d}{U_{\text{ф}m}}=f\left(\frac{L+L_{\text{ф}}}{U_{\text{ф}m}}\omega_0 I_d\right)$, построенных для различных углов управления α. На рис. 7-10—7-12 дается семейство этих характеристик для ТП с $m=2$; 3 и 6.

Расчет внешней характеристики при заданном угле регулирования α и известных параметрах L и $L_{\text{ф}}$ производится путем перерасчета соответствующей характеристики $\frac{U_d}{U_{\text{ф}m}}=f\left(\frac{L+L_{\text{ф}}}{U_{\text{ф}m}}\omega_0 I_d\right)$ в зависимость $U_d=f(I_d)$.

Рассмотренная выше методика расчета внешних характеристик ТП составлена из допущения, что нагрузка имеет чисто индуктивный характер. Такое допущение вполне приемлемо, поскольку в реальных тиристорных приводах активное сопротивление нагрузки относительно невелико. При необходимости учета активной составляющей сопротивления нагрузки расчет внешних характеристик можно произвести другим методом, базирующимся на известных результатах анализа однополупериодной схемы, к которой приводится m-фазный ТП в режиме прерывистых токов.

На основе этого анализа составлены уравнения для выпрямленного напряжения U_d и тока I_d:

$$U_d=\frac{U_{\text{ф}m}\cos\theta}{e^{\lambda\operatorname{ctg}\theta}-1}\left[e^{\lambda\operatorname{ctg}\theta}\sin\left(\alpha-\frac{\pi}{m}+\frac{\pi}{2}-\theta+\lambda\right)-\sin\left(\alpha-\frac{\pi}{m}+\frac{\pi}{2}-\theta\right)\right]; \quad (7\text{-}34)$$

$$I_d=\frac{U_{\text{ф}m}\,m\operatorname{tg}\theta}{\pi\omega_0(L+L_{\text{ф}})}\left[\sin\frac{\lambda}{2}\sin\left(\alpha-\frac{\pi}{m}+\frac{\pi}{2}+\frac{\lambda}{2}\right)-\frac{\lambda}{2}\frac{U_d}{U_{\text{ф}m}}\right], \quad (7\text{-}35)$$

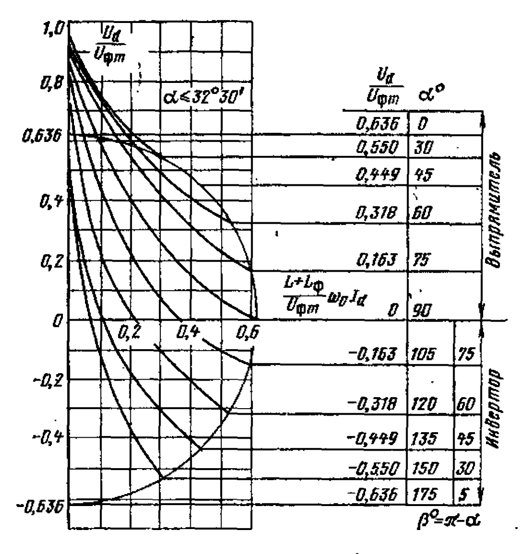


Рис. 7-10. Номограммы для внешних характеристик ТП в зоне прерывистых токов при $m=2$.

где θ — фазовый угол контура нагрузки, определяемый выражением

$$\operatorname{tg}\theta=\omega_0 L/R_{\text{н}}.$$

Уравнения (7-34) и (7-35) определяют в параметрической форме семейство внешних характеристик ТП, т. е. зависимость $U_d=f(I_d)$ при различных α. Параметром является λ. Для определенной нагрузки угол θ постоянен и U_d и I_d являются функциями α и λ. С другой стороны, при заданной длительности импульса тока λ U_d и I_d являются функциями только α. При постоянных θ и λ как напряжение U_d, так и ток I_d можно представить как сумму двух синусоид одного и того же аргумента α, имеющих различную амплитуду и различный фазовый сдвиг. Сложив их, можно получить параметрическую систему из двух простых уравнений, которые и будут определять семейство внешних характеристик ТП:

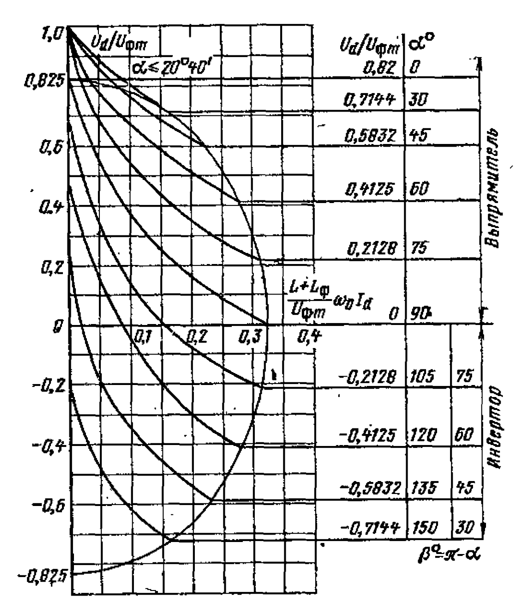


Рис. 7-11. Номограммы для расчета внешних характеристик ТП в зоне прерывистых токов при $m=3$.

$$U_d=U_{\text{ф}m}D\sin(\alpha-\pi/m+\pi/2+\varphi_U); \quad (7\text{-}36)$$

$$I_d=\frac{mU_{\text{ф}m}}{\pi\omega_0(L+L_{\text{ф}})}H_L\sin\left(\alpha-\frac{\pi}{m}+\frac{\pi}{2}+\varphi_I\right), \quad (7\text{-}37)$$

где D — составляющая амплитуды напряжения:

$$D=\frac{\cos\theta}{e^{\lambda\operatorname{ctg}\theta}}\sqrt{1+e^{2\lambda\operatorname{ctg}\theta}-2e^{\lambda\operatorname{ctg}\theta}\cos\lambda}; \quad (7\text{-}38)$$

H_L — составляющая амплитуды тока:

$$H_L=\operatorname{tg}\theta\times\sqrt{\sin^2\frac{\lambda}{2}+\frac{D^2\lambda^2}{4}-\lambda D\sin\frac{\lambda}{2}\cos\left(\varphi_U-\frac{\lambda}{2}\right)}; \quad (7\text{-}39)$$

φ_U — фазовый угол сдвига напряжения:

$$\operatorname{tg}\varphi_U=\frac{e^{\lambda\operatorname{ctg}\theta}\sin(\lambda-\theta)+\sin\theta}{e^{\lambda\operatorname{ctg}\theta}\cos(\lambda-\theta)-\cos\theta};\qquad(7\text{-}40)$$

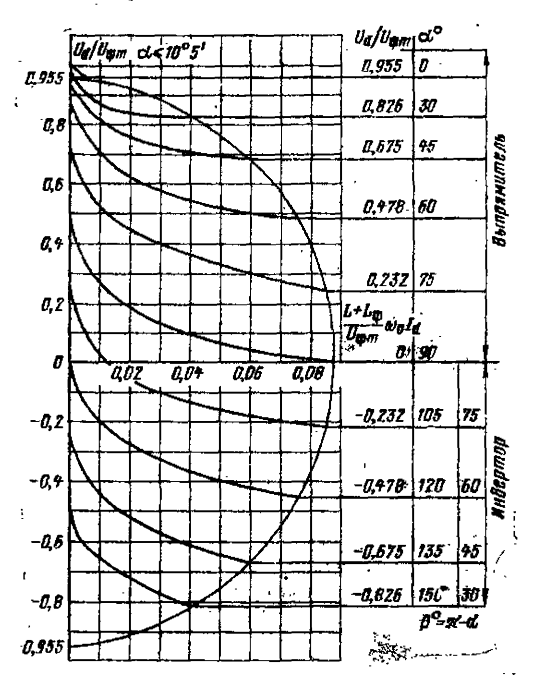


Рис. 7-12. Номограммы для расчета внешних характеристик ТП в зоне прерывистых токов при $m=6$.

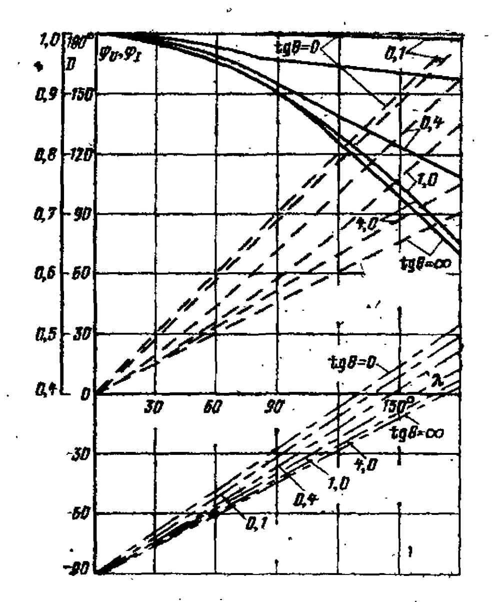


Рис. 7-13. Зависимости D, φ_U, $\varphi_I=f(\lambda)$ при различных $\operatorname{tg}\theta$.

——— D; — — — φ_U; —·—·— φ_I.

φ_I — фазовый угол сдвига тока, соответствующий выражению

$$\operatorname{tg}\varphi_I=\frac{\sin^2\dfrac{\lambda}{2}-\dfrac{D\lambda}{2}\sin\varphi_U}{\sin\dfrac{\lambda}{2}\cos\dfrac{\lambda}{2}-\dfrac{D\lambda}{2}\cos\varphi_U}.\qquad(7\text{-}41)$$

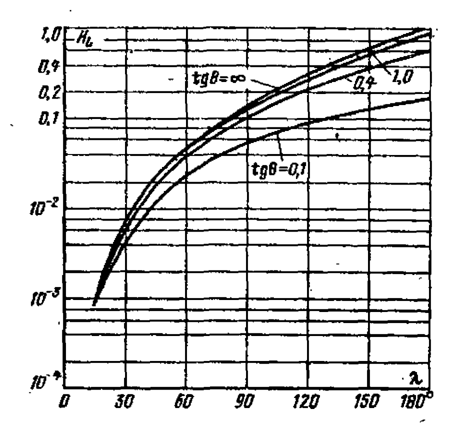


Рис. 7-14. Зависимости $H_L=f(\lambda)$ при различных $\operatorname{tg}\theta$.

Зависимости D, φ_U, H_L, φ_I от λ при различных $\operatorname{tg}\theta$ показаны на рис. 7-13 и 7-14.

Для построения внешних характеристик следует задаться различными величинами λ в пределах от 0 до $\lambda_{гр}$. Для каждого значения λ на рис. 7-13 и 7-14 определяются D, φ_U, H_L, φ_I. Далее при подстановке различных α в (7-36), (7-37) находятся точки внешних характеристик.

Для отыскания точек, соответствующих границе области прерывистых токов, необходимо значения D, H_L, φ_U, φ_I определить для $\lambda_{гр}=2\pi/m$.

В случае $\operatorname{tg}\theta\to\infty$ система уравнений, определяющих границу области прерывистых токов, принимает вид (7-32) и (7-33).

7-4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В КОНТАКТОРНО-КОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

а) Общие вопросы

Методы параметрического регулирования являются традиционными и применяются наиболее широко в крановых электроприводах. К этим методам относятся регулирование изменением сопротивлений в цепи ротора двигателей с контактными кольцами и в цепи статора короткозамкнутых двигателей по симметричным и несимметричным схемам, симметричное и несимметричное регулирование питающего напряжения, а также регулирование изменением числа пар полюсов.

Наиболее существенным недостатком параметрических методов регулирования (за исключением регулирования изменением числа пар полюсов) является то, что при их использовании вся энергия скольжения выделяется в виде потерь в электроприводе. При применении короткозамкнутых электродвигателей все потери выделяются непосредственно в обмотках ротора, что требует

увеличения габаритов электродвигателей при расширении диапазона регулирования частоты вращения. Поэтому в основном в таких системах применяются двигатели с фазным ротором. При этом большая часть потерь выделяется в пускорегулировочных резисторах. Однако и в случае асинхронного короткозамкнутого двигателя электроприводы с параметрическими методами регулирования применяются достаточно широко для крановых механизмов, особенно для легкого режима работы. Это в первую очередь относится к электроприводам с полюсно-переключаемыми машинами, обладающими наилучшими энергетическими показателями из систем рассматриваемого типа.

б) Расчет механических характеристик двигателей с фазным ротором при введении симметричных сопротивлений в роторную цепь

Включение сопротивлений в роторную цепь показано на рис. 7-15, *а*. Расчет механических характеристик может выполняться несколькими способами. При уточненном способе используется следующая формула для механических характеристик асинхронной машины:

$$M = M_{к} \frac{2+q}{s/s_{к} + s_{к}/s + q}, \quad (7\text{-}42)$$

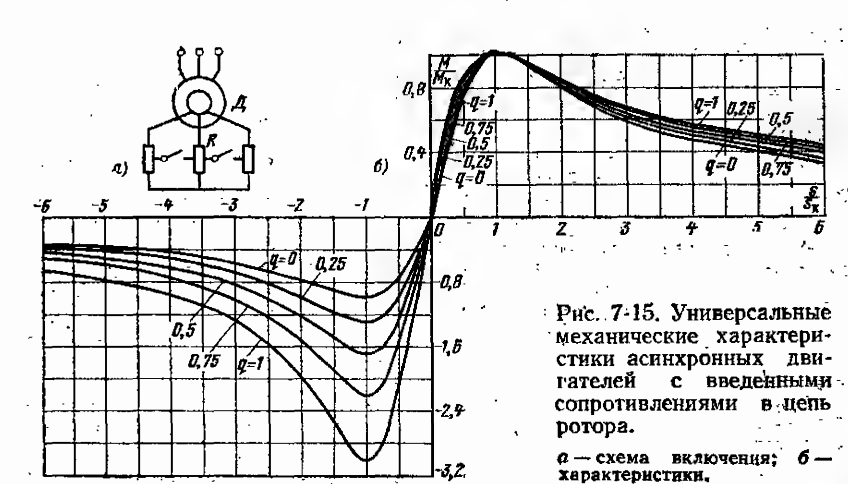


Рис. 7-15. Универсальные механические характеристики асинхронных двигателей с введенными сопротивлениями в цепь ротора.

а — схема включения; *б* — характеристики.

где $M_{к}$ и $s_{к}$ — критические значения момента и скольжения двигателя; $q = 2\frac{R_1}{R_2'} s_{к}$; R_1 и R_2' — активные сопротивление цепи статора и приведенное сопротивление цепи ротора, причем $R_2' = r_2' + R_{2д}'$ ($R_{2доб}'$ — приведенное к статору добавочное сопротивление фазы ротора).

Критические скольжения для естественной и искусственной реостатной характеристик связаны между собой соотношением

$$s_{к.и} = s_{к.е} \frac{R_2}{r_2}. \quad (7\text{-}43)$$

Момент двигателя с приведенным током ротора связан следующей зависимостью:

$$M = \frac{3}{\omega_c} I_2'^2 \left(\sqrt{(U_ф/I_2')^2 - x_{к}^2} - R_1 \right), \quad (7\text{-}44)$$

где $x_{к} = x_1 + x_2'$.

Из этого выражения следует, что при постоянном значении тока ротора I_2' момент асинхронного двигателя $M = \text{const}$ и не зависит от сопротивления цепи ротора и скольжения.

Если известна естественная характеристика, то расчет искусственных реостатных характеристик может быть выполнен просто путем пересчета скольжений при одинаковых моментах двигателя по выражению

$$s_{и} = s_{е} \frac{R_2}{r_2}, \quad (7\text{-}45)$$

где $s_{и}$ и $s_{е}$ — скольжения на искусственной и естественной характеристиках при одинаковом моменте двигателя.

Согласно (7-45) при одинаковых моментах скольжение пропорционально полным сопротивлениям линии ротора.

При приближенном способе расчет рабочего (линейного) участка механической характеристики выполняется по выражению

$$\frac{M}{M_{н}} = \frac{R_{2н}}{R_2} s, \quad (7\text{-}46)$$

где $R_{2н} = E_{2н}/\sqrt{3} I_{2н}$ — номинальное сопротивление ротора, определяемое э. д. с. между кольцами неподвижного разомкнутого ротора и его номинальным током.

Согласно (7-45) при номинальном моменте $M = M_{н}$

$$s = R_2/R_{2н}, \quad (7\text{-}47)$$

а при $R_{2д} = 0$ и $M = M_{н}$

$$s_{н} = r_2/R_{2н}, \quad (7\text{-}48)$$

т. е. при номинальном моменте скольжение равно долям полного активного сопротивления линий ротора, причем для двигателя с закороченными кольцами скольжение равно долям активного сопротивления обмотки ротора.

Для многократных расчетов механических характеристик удобно пользоваться универсальными характеристиками. Такие характеристики строятся по формуле (7-42), которую можно переписать в виде

$$\frac{M}{M_{к}} = \frac{2+q}{s/s_{к} + s_{к}/s + q}. \quad (7\text{-}49)$$

Универсальные зависимости $M/M_{к} = f(s/s_{к})$ для различных параметров q приведены на рис. 7-15, *б*. Механические характеристики $s = f(M)$ при использовании кривых на рис. 7-15, *б* рассчитываются по выражениям

$$s = (s/s_{к}) s_{к}; \quad M = (M/M_{к}) M_{к}, \quad (7\text{-}50)$$

где $s_{к}$ определяется формулой (7-43).

Значение критического скольжения $s_{к.е}$ на естественной характеристике можно определить по параметрам двигателя или, пользуясь значением перегрузочной способности $\lambda_M = M_{к}/M_{н}$, по формуле

$$s_{к.е} = s_{н} \left\{ \left[\lambda_M + (\lambda_M - 1) q \pm \sqrt{[\lambda_M + (\lambda_M - 1) q]^2 - 1}\right] \right\}. \quad (7\text{-}51)$$

Знаки + и — относятся соответственно к двигательному и генераторному режимам. При $q=0$

$$s_{к.е} = s_н \left(\lambda_M \pm \sqrt{\lambda_M^2 - 1}\right). \quad (7\text{-}52)$$

в) Механические характеристики при несимметричных сопротивлениях в цепи ротора

Несимметричное включение резисторов в цепь ротора асинхронного двигателя применяется для увеличения числа пусковых характеристик при ограниченном числе коммутирующих контактов, например, при управлении

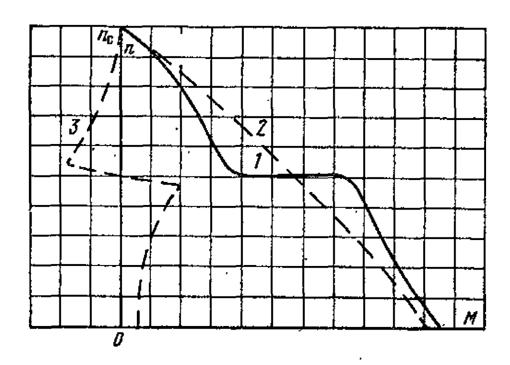


Рис. 7-16. Механические характеристики асинхронного двигателя при несимметричных сопротивлениях в роторе.

1 — суммарная; 2 — для прямой последовательности; 3 — для обратной последовательности.

от силового контроллера. В этом случае на каждой позиции контроллера выводится сопротивление только в одной фазе. Несимметричные токи, вызванные неравными сопротивлениями, могут быть разложены на составляющие прямой и обратной последовательности. Магнитодвижущая сила прямой последовательности вращается в пространстве с синхронной угловой скоростью $\omega_{пр} = \omega_c$, а обратной — со скоростью $\omega_{обр} = \omega_c(1-2s)$. Эти м. д. с. создают свои вращающие моменты, алгебраическая сумма которых определяет суммарный момент двигателя.

На рис. 7-16 показаны примерные характеристики асинхронного двигателя при большой несимметрии роторных сопротивлений, при которой появляются провал момента на суммарной характеристике при скольжении $s=0{,}5$. Провал момента растет при увеличении несимметрии.

Точный расчет механических характеристик с учетом провала момента весьма сложен. Учитывая, что в применяемых схемах несимметрия сопротивлений в роторе принимается небольшой, с достаточной для практики точностью характеристики могут рассчитываться для эквивалентных симметричных сопротивлений в роторе. Под эквивалентным сопротивлением понимается симметричное сопротивление, дающее такие же тепловые потери, как и несимметричные. Это сопротивление равно:

$$R_{экв} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}, \quad (7\text{-}53)$$

где R_a, R_b, R_c — несимметричные сопротивления в фазных цепях ротора.

По значению $R_{экв}$ ведется расчет характеристик согласно изложенному в § 7-4, б.

г) Механические характеристики асинхронных короткозамкнутых двигателей при введении симметричных сопротивлений в цепь статора

Расчет выполняется путем пересчета известных естественных характеристик для момента M_e, тока статора I_{1e} и $\cos\varphi_e$ двигателя в зависимости от частоты вращения ротора или скольжения s (рис. 7-17, а).

Для заданной частоты вращения вычисляются сопротивления схемы замещения двигателя, соответствующие естественной характеристике

$$z_e = U_{ф.н}/I_{1e}; \quad r_e = z_e \cos\varphi_e; \quad x_e = z_e \sin\varphi_e. \quad (7\text{-}54)$$

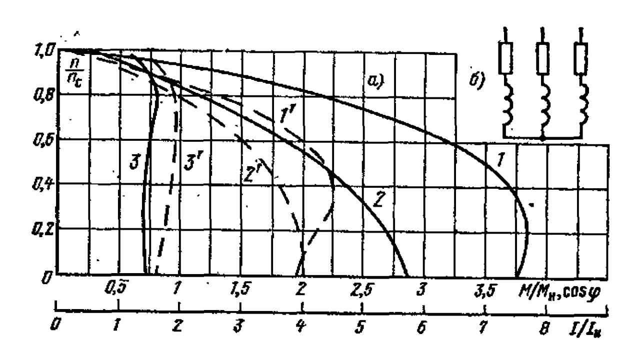


Рис. 7-17. Механические характеристики асинхронного короткозамкнутого двигателя МТКН 312-6 с внешними добавочными сопротивлениями в цепи статора ($ПВ_н = 40\%$).

а — характеристики; б — схема включения резисторов; 1 — $M_e = f(s)$; 2 — $I_e = f(s)$; 3 — $\cos\varphi_e = f(s)$; 1' — $M_и = f(s)$; 2' — $I_и = f(s)$; 3' — $\cos\varphi_и = f(s)$.

Далее определяют суммарные сопротивления двигателя

$$R_и = r_e + R_{1доб}; \quad x_и = x_e + x_{1доб}; \quad z_и = \sqrt{R_и^2 + x_и^2}; \quad (7\text{-}55)$$

где $R_{1доб}$ и $x_{1доб}$ — добавочные активное и индуктивное сопротивления.

Расчет искомых параметров для искусственных характеристик выполняют по формулам

$$I_{1и} = U_{ф.н}/z_и; \quad (7\text{-}56)$$

$$\cos\varphi_и = R_и/z_и; \quad (7\text{-}57)$$

$$M_и = M_e I_{1и}^2/I_{1e}^2 = M_e z_e^2/z_и^2. \quad (7\text{-}58)$$

В крановых электроприводах обычно используются только активные добавочные сопротивления $R_{1доб}$. Схема включения добавочных резисторов показана на рис. 7-17, б. При этом в расчетах следует принимать $x_{1доб}=0$.

Очень важным вопросом для рассматриваемого способа регулирования является определение допустимых нагрузок короткозамкнутого двигателя при изменении скорости, поскольку потери скольжения здесь выделяются полностью в машине.

Из формулы

$$M_{доп}\, s \sqrt{ПВ_р/ПВ_н} = M_н s_{н.е} \quad (7\text{-}59)$$

допустимый момент, соответствующий продолжительности включения при регулировании $ПВ_р$, составляет:

$$M_{доп} = M_н \frac{\omega_c - \omega_н}{\omega_c - \omega} \sqrt{\frac{ПВ_н}{ПВ_р}}, \quad (7\text{-}60)$$

где ω_c и $\omega_н$ — угловые синхронная и номинальная скорости.

На рис. 7-18 построены зависимости $M_{доп}(n)$ для двигателя с $s_{к.е}=0{,}07$ при $ПВ_р=5$, 10, 15, 25%, рассчитанные по (7-60). Характеристики показывают, что диапазон регулирования при номинальном моменте

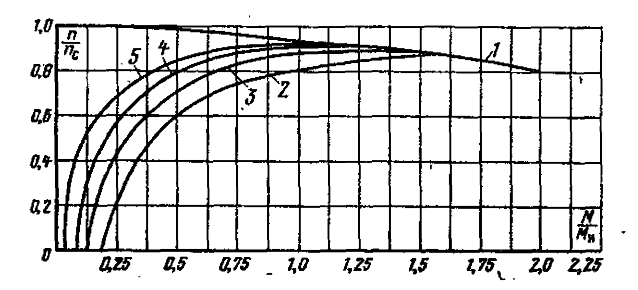


Рис. 7-18. Зависимости допустимого момента асинхронного короткозамкнутого двигателя от частоты вращения ($ПВ_н=40\%$).

1 — естественная характеристика; 2—5 — зависимости $M_{доп}$ от ω при $\varepsilon_р=5$, 10, 15, 25%.

и при введении сопротивлений в цепь статора короткозамкнутой машины, даже с учетом малых значений $ПВ_р$ не превышает 1,2—1,3.

д) Механические характеристики асинхронного короткозамкнутого двигателя при несимметричном включении сопротивлений

Несимметричное включение резисторов в цепь статора — простейший способ ограничения моментов короткозамкнутых электродвигателей. Он широко используется для механизмов кранов небольшой грузоподъемности и ненапряженного режима работы.

Наиболее часто применяется включение сопротивлений в одну из фаз статора (рис. 7-19). Несимметрия сопротивлений приводит к несимметричной системе напря-

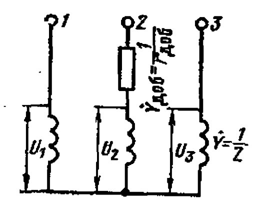


Рис. 7-19. Схема включения асинхронного двигателя с внешним сопротивлением в одной фазе статора.

жений на зажимах двигателя, определяющей составляющие момента прямой и обратной последовательности. Напряжения прямой и обратной последовательностей рассчитываются по выражениям

$$\dot{U}_{пр}=\dot{U}_ф\frac{\dot{Y}_{обр}+3\dot{Y}_д}{\dot{Y}_{пр}+\dot{Y}_{обр}+3\dot{Y}_д};\qquad(7\text{-}61)$$

$$\dot{U}_{обр}=-\dot{U}_ф a^2\frac{\dot{Y}_{пр}}{\dot{Y}_{пр}+\dot{Y}_{обр}+3\dot{Y}_д},\qquad(7\text{-}62)$$

где $\dot{Y}_{пр}$ и $\dot{Y}_{обр}$ — прямая и обратная проводимости, определяемые по схеме замещения при скольжениях соответственно s и $2-s$; $\dot{Y}_д=1/r_д$ — проводимость добавочного сопротивления; $a=e^{-j\frac{2\pi}{3}}$,

С учетом зависимостей (7-61) и (7-62) выражение для момента имеет вид:

$$\frac{M_и}{M_е}=\left|\frac{\dot{Y}_{обр}+3\dot{Y}_д}{\dot{Y}_{пр}+\dot{Y}_{обр}+3\dot{Y}_д}\right|^2-\frac{M_{е.обр}}{M_е}\left|\frac{\dot{Y}_{пр}}{\dot{Y}_{пр}+\dot{Y}_{обр}+3\dot{Y}_д}\right|^2,\qquad(7\text{-}63)$$

где $M_и/M_е$ — отношение моментов на естественной и искусственной характеристиках при одинаковых частотах вращения; $M_{е.обр}/M_е$ — отношение момента от обратной последовательности напряжений (при $U_{н.ф}$) к моменту на естественной характеристике при одинаковых частотах вращения.

Для расчетов по (7-63) необходимо выполнить геометрическое сложение проводимостей посредством построения круговой диаграммы для двигателя.

Для практических целей расчет механических характеристик можно выполнить, не прибегая к графическим построениям. При этом момент определяется по формуле

$$\frac{M_и}{M_е}=\frac{1+\frac{2}{3}\left(\frac{r_д}{z}\right)\cos\varphi}{1+\frac{4}{9}\left(\frac{r_д}{z}\right)^2+\frac{4}{3}\left(\frac{r_д}{z}\right)\cos\varphi},\qquad(7\text{-}64)$$

где $\cos\varphi$ — коэффициент мощности при заданном скольжении.

Для построения механических характеристик следует для заданных значений скольжений определить по естественной характеристике соответствующие им значения токов и $\cos\varphi$ и найти полное сопротивление двигателя $z=\frac{U_{н.ф}}{\sqrt{3}\,I_1}$. Затем по найденным значениям z и $\cos\varphi$ и известном $r_д$ по (7-64) определяются моменты.

Следует отметить, что использование двигателей при несимметричном включении сопротивлений хуже, чем при симметричном. Например, в режиме стоянки с одинаковым пусковым моментом допустимое время включения двигателя с сопротивлением в одной фазе в 2—2,5 раза меньше, чем при симметричном включении сопротивлений во все три фазы статора.

е) Механические характеристики при изменении питающего напряжения в симметричном режиме

При регулировании скорости асинхронного двигателя изменением напряжения остается справедливым выражение (7-59), определяющее по условиям нагрева ограничение по диапазону регулирования для короткозамкнутых двигателей, поэтому такое регулирование находит практическое применение только для электродвигателей с фазным ротором, где основная часть потерь скольжения выделяется в добавочных сопротивлениях ротора.

Изменение напряжения асинхронного двигателя приводит к изменению критического момента, тогда как критическое скольжение остается постоянным, поэтому в электроприводах рассматриваемый метод регулирования применяется в замкнутых системах управления с тиристорными регуляторами напряжения или магнитными усилителями. Расчет механических характеристик таких электроприводов дан в § 7—6. Здесь же рассматривается влияние на характеристики асинхронных машин колебания напряжения питающей сети, что характерно для условий эксплуатации крановых электроприводов.

Момент, развиваемый двигателем, при любом значении скольжения пропорционален квадрату приложенного напряжения

$$M=\left(\frac{U_\text{ф}}{U_\text{н.ф}}\right)^2 M_\text{e}, \qquad (7\text{-}65)$$

а ток ротора двигателя пропорционален напряжению

$$I_2'=\frac{U_\text{ф}}{U_\text{н.ф}} I_{2\text{e}}'. \qquad (7\text{-}66)$$

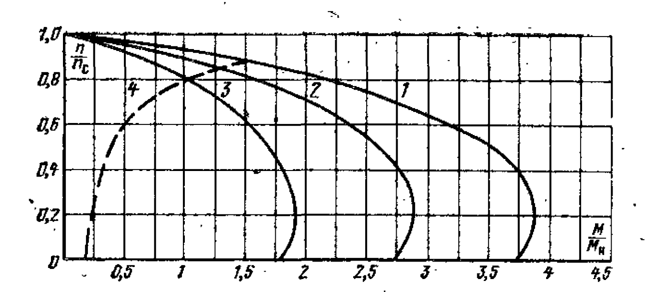


Рис. 7-20. Механические характеристики асинхронного двигателя МТН 312-6 при изменении напряжения питания (ПВ$_\text{н}$=40%).

1 — естественная; 2 и 3 — при напряжениях 0,7 и 0,85 номинального; 4 — допустимый момент при ПВ$_\text{р}$=5%.

При одинаковом моменте нагрузки на рабочем участке механических характеристик скольжение и ток ротора могут быть найдены по следующим приближенным соотношениям:

$$s_\text{и}\approx s_\text{e}\frac{1}{(U_\text{ф}/U_\text{н.ф})^2}; \qquad (7\text{-}67)$$

$$I_{2\text{и}}'\approx I_{2\text{e}}'\frac{1}{U_\text{ф}/U_\text{н.ф}}. \qquad (7\text{-}68)$$

Крутизна характеристик возрастает при понижении напряжения. Механические характеристики, рассчитанные для двигателя МТКН312-6 при напряжениях 0,85 и 0,7 номинального, приведены на рис. 7-20, там же показана кривая $M_\text{доп}$, рассчитанная по (7-59) для $ПВ_\text{р}$=0,05

Ввиду того что во всех промышленных сетях всегда имеет место падение напряжения, для обеспечения надежной работы двигателя требуется проверка его выбора по условиям обеспечения пускового режима. Это особенно важно для электроприводов с короткозамкнутыми двигателями.

ж) Механические характеристики при несимметрии питающих напряжений

Расчет характеристик при несимметрии питающих напряжений выполняется методом симметричных составляющих.

Составляющая прямой последовательности напряжений равна:

$$\dot U_\text{пр}=\frac{\dot U_{\text{ф}1}+\dot a\dot U_{\text{ф}2}+\dot a^2\dot U_{\text{ф}3}}{3}; \qquad (7\text{-}69)$$

составляющая обратной последовательности

$$\dot U_\text{обр}=\frac{\dot U_{\text{ф}1}+\dot a^2\dot U_{\text{ф}2}+\dot a\dot U_{\text{ф}3}}{3}; \qquad (7\text{-}70)$$

здесь $\dot U_{\text{ф}1}$; $\dot U_{\text{ф}2}$; $\dot U_{\text{ф}3}$ — векторы фазных напряжений несимметричной системы; $a=e^{-j\,120°}=0{,}5-j0{,}866$ — единичный вектор.

Момент, развиваемый двигателем, равен:

$$M=\frac{M_\text{к.пр}(2+q)}{s/s_\text{к}+s_\text{к}/s+q}-\frac{M_\text{к.обр}(2+q)}{(2-s)/s_\text{к}+s_\text{к}/(2-s)+q}, \qquad (7\text{-}71)$$

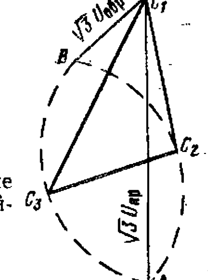


Рис. 7-21. Графическое определение симметричных составляющих линейных напряжений.

где $M_\text{к.пр}$ и $M_\text{к.обр}$ — критические моменты от прямой и обратной составляющих напряжений, определяемые выражениями:

$$M_\text{к.пр}=M_\text{к}(U_\text{пр}/U_\text{н.ф})^2; \qquad (7\text{-}72)$$

$$M_\text{к.обр}=M_\text{к}(U_\text{обр}/U_\text{н.ф})^2; \qquad (7\text{-}73)$$

$M_\text{к}$ — критический момент двигателя на естественной характеристике.

В практических расчетах приходится иметь дело с линейными напряжениями, поэтому при использовании (7-69) — (7-73) необходимо предварительно определить напряжения для отдельных последовательностей. Такое определение проще всего выполняется с помощью графических построений, приведенных на рис. 7-21. Пусть $C_1C_2C_3$ — треугольник линейных напряжений. На одном из отрезков, выражающих линейные напряжения, строятся два равносторонних треугольника AC_3C_2 и BC_3C_2. При этом значение вектора $\overline{C_1A}$ в соответствующем масштабе равно: $\sqrt{3}U_\text{пр}$, а для вектора $\overline{BC_1}$ $\sqrt{3}U_\text{обр}$.

з) Однофазное включение обмоток статора асинхронных двигателей

Несмотря на низкие энергетические показатели, однофазное включение широко применяется в крановых подъемных механизмах для регулирования частоты вращения двигателей с фазным ротором. Схема включения обмоток двигателя приведена на рис. 7-22, *а*. При таком подключении симметричные составляющие линейных напряжений прямой и обратной последовательностей одинаковы и равны $U_\text{л}/\sqrt{3}$. Механические характеристики рассчитываются по зависимостям (7-71)—(7-73).

Форма механических характеристик изменяется при введении добавочных резисторов в цепь ротора двигателя. На рис. 7-22, *а* показаны характеристики для случая включения в ротор значительных добавочных сопротивлений.

При отсутствии добавочных сопротивлений большая часть механической характеристики имеет положительную жесткость, как показано на рис. 7-22, *б*, поэтому однофазное включение для короткозамкнутых машин в крановых электроприводах не применяется, однако, оно может иметь место при обрыве одной из фаз статора. Двигатель может работать на устойчивой части механи-

ческой характеристики, если момент нагрузки не превышает критической. Однако при этом значительно увеличится фазный ток машины:

$$\dot{I} = \frac{U_л}{\dot{z}_{пр} + \dot{z}_{обр}}, \qquad (7\text{-}74)$$

где $\dot{z}_{пр}$ и $\dot{z}_{обр}$ — эквивалентные сопротивления схемы замещения при скольжениях s и $2-s$ соответственно.

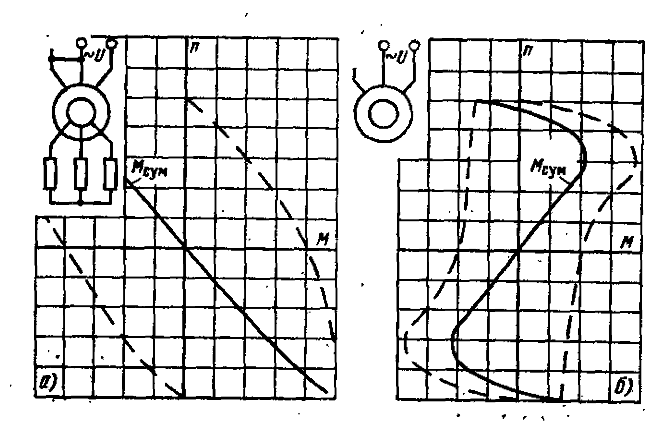


Рис. 7-22. Механические характеристики асинхронных двигателей при однофазном включении.

а — для двигателя с фазным ротором; *б* — при обрыве фазы короткозамкнутого двигателя.

Учитывая, что при симметричном трехфазном напряжении $I = U_л/\sqrt{3}\, z_{пр}$ и то, что $z_{обр}$ мало, можно заключить, что при одинаковой частоте вращения ток в однофазном режиме увеличивается примерно в $\sqrt{3}$ раз по сравнению с трехфазным. Однако при неизменном моменте статической нагрузки в случае обрыва фазы скольжение увеличивается, что приводит к снижению $\dot{z}_{пр}$, поэтому в однофазном режиме при одинаковом моменте фазный ток по сравнению с трехфазным режимом возрастает в 1,75 — 1,85 раза.

и) Регулирование скорости переключением числа полюсов асинхронных короткозамкнутых двигателей

При использовании многоскоростных двигателей осуществляется ступенчатое регулирование частоты вращения.

Для двух независимых обмоток статора таких двигателей установлены связи между различными показателями их работы.

Соотношение индукций в воздушном зазоре двигателя при числах пар полюсов p_1 и p_2 равно:

$$\frac{B_{\delta 1}}{B_{\delta 2}} = \frac{w_2 k_{об2}\, p_1 U_{ф1}}{w_1 k_{об1}\, p_2 U_{ф2}}; \qquad (7\text{-}75)$$

здесь w_1, w_2, $k_{об1}$, $k_{об2}$; $U_{ф1}$; $U_{ф2}$ — соответственно числа витков, значения обмоточных коэффициентов и фазного напряжения для обмоток с числом пар полюсов p_1 и p_2.

Соотношение критических моментов

$$\frac{M_{к1}}{M_{к2}} = \left(\frac{B_{\delta 1}}{B_{\delta 2}}\right)^2 \left(\frac{k_{об1}}{k_{об2}}\right) \frac{p_2}{p_1}. \qquad (7\text{-}76)$$

Соотношение намагничивающих токов (при пренебрежении насыщения железа машины)

$$\frac{I_{01}}{I_{02}} = \frac{B_{\delta 1}\, p_1 w_1 k_{об2}}{B_{\delta 2}\, p_2 w_2 k_{об1}}. \qquad (7\text{-}77)$$

Соотношение токов короткого замыкания

$$\frac{I_{к1}}{I_{к2}} = \frac{U_{ф1}}{U_{ф2}} \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2. \qquad (7\text{-}78)$$

Из приведенных соотношений следует, что при одинаковых индукциях перегрузочная способность машины обратно пропорциональна числу полюсов, а при одинаковой перегрузочной способности индукции должны быть пропорциональны корню квадратному из отношения числа полюсов обмоток. Намагничивающий ток пропорционален числу пар полюсов.

Для получений нужных соотношений перегрузочной способности и $\cos\varphi$ необходимо подбирать соотношение индукций обмоток, что достигается изменением фазного напряжения (соединение обмоток звездой или треугольником) или числа витков (путем соединения отдельных частей обмоток последовательно или параллельно).

В крановых электроприводах для получения одинаковой перегрузочной способности на разных обмотках регулирование осуществляется при постоянстве момента. При этом применяются или отдельные обмотки или полюсно-переключаемые обмотки с переключением по схеме ⅄⅄/Δ или ⅄⅄/⅄.

Схема ⅄⅄/Δ применяется при соотношении чисел пар полюсов 12/24, а схема ⅄⅄/⅄ — для соотношений 4/8 и 6/12. Схема ⅄⅄/Δ является схемой с постоянной мощностью. Однако вследствие большого сопротивления обмотки для малой скорости критические моменты при различных числах пар полюсов близки между собой. В схеме ⅄⅄/⅄ обеспечивается постоянство перегрузочной способности на разных обмотках.

Максимальный диапазон регулирования, обеспечиваемый переключением числа пар полюсов, составляет 6 : 1 при использовании независимых обмоток.

к) Последовательное соединение обмоток двухскоростного двигателя

Последовательное соединение отдельных обмоток статора многоскоростных двигателей применяется для ограничения максимального момента тихоходной обмотки в генераторном режиме при переходе на пониженную скорость. При этом предотвращается также перерыв питания двигателя в схемах контроллерного управления.

Расчет механических характеристик может быть выполнен на основе метода наложения при пренебрежении изменением насыщения машины по параметрам схемы замещения или естественным характеристикам.

При расчете по параметрам схемы замещения определяются активные и индуктивные сопротивления тихоходной (быстроходной) обмоток двигателя по формулам

$$R_{т(б)} = r_{1т(б)} + \frac{x^2_{0т(б)}}{x_{0т(б)} + x'_{2т(б)}} \times$$
$$\times \frac{1}{\dfrac{s_{т(б)}\left(x_{0т(б)} + x'_{2т(б)}\right)}{r'_{2т(б)}} + \dfrac{r'_{2т(б)}}{s_{т(б)}\left(x_{0т(б)} + x'_{2т(б)}\right)}}; \qquad (7\text{-}79)$$

$$X_{т(б)} = x_{1т(б)} + \frac{x_{0т(б)}}{x_{0т(б)} + x'_{2т(б)}} x'_{2т(б)} + \\ + \frac{x^2_{0т(б)}}{x_{0т(б)} + x_{1т(б)}} \frac{1}{1 + \left[\frac{s_{т(б)} \left(x_{0т(б)} + x'_{2т(б)} \right)}{r'_{2т(б)}} \right]^2} \quad (7\text{-}80)$$

и общее $z_{общ}$ суммарное сопротивление последовательно соединенных обмоток

$$z_{общ} = \sqrt{(R_б + R_т)^2 + (X_б + X_т)^2}. \quad (7\text{-}81)$$

Следует иметь в виду, что в генераторном режиме $R_{т(б)}$ имеет отрицательное значение, а в двигательном — положительное. По $z_{общ}$ определяем ток, протекающий по обмоткам

$$I = U_ф/z_{общ}. \quad (7\text{-}82)$$

Моменты двигателя для каждой из обмоток рассчитываем по формулам

$$M_{т.и} = M_{т.е}(I/I_т)^2; \quad (7\text{-}83)$$

$$M_{б.и} = M_{б.е}(I/I_б)^2, \quad (7\text{-}84)$$

где $M_{т.е}$ и $M_{б.е}$ ($I_т$ и $I_б$) моменты (токи) на естественной характеристике при заданной скорости при использовании тихоходной и быстроходной обмоток.

Общий момент двигателя равен алгебраической сумме рассчитанных моментов.

При наличии естественных характеристик (I, $\cos\varphi$ и M в функции s) расчет выполняется значительно проще. При заданных скоростях определяются сопротивления для тихоходной (быстроходной) обмотки двигателя по формуле

$$Z_{т(б)} = U_ф/I_{т(б)}. \quad (7\text{-}85)$$

Активные и индуктивные сопротивления тихоходной (быстроходной) обмотки рассчитываются по выражениям

$$\left. \begin{aligned} R_{т(б)} &= z_{т(б)} \cos\varphi_{т(б)}; \\ X_{т(б)} &= z_{т(б)} \sin\varphi_{т(б)}. \end{aligned} \right\} \quad (7\text{-}86)$$

Дальнейший расчет выполняется по (7-81)—(7-84).

На рис. 7-23 приведена механическая характеристика (кривая 3) кранового двигателя МТКН312-4/12 при последовательном включении его обмоток. Механическая характеристика имеет провал момента в зоне синхронной частоты вращения двигателя для быстроходной обмотки, поскольку эта обмотка является по отношению к тихоходной последовательно включенным переменным сопротивлением, имеющим максимальное значение при указанной частоте вращения. Наличие провала недопустимо для механизмов с отрицательным моментом на валу. Для устранения провала быстроходная обмотка шунтируется внешним активным сопротивлением.

При расчете характеристик с шунтирующим сопротивлением определяется ток $I_{сум}$, соответствующий требуемому суммарному моменту $M_{сум}$:

$$I_{сум} = \sqrt{M_{сум}/M_{т.е}}\; I_{т.е} \quad (7\text{-}87)$$

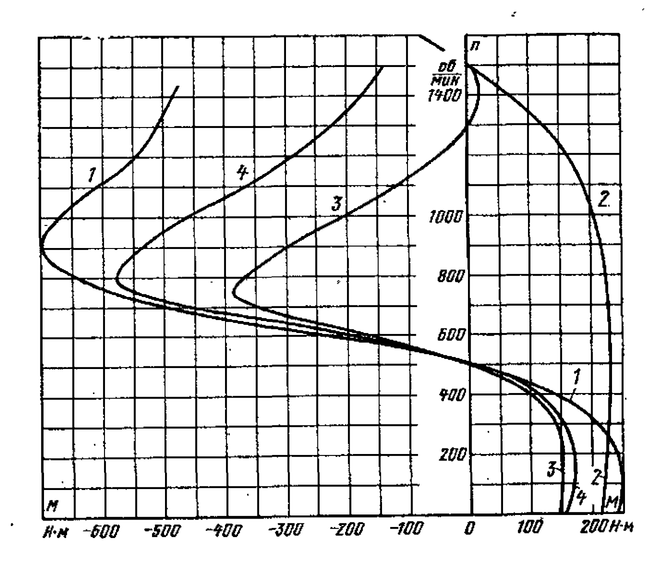


Рис. 7-23. Механические характеристики двигателя МТКН 312-4/12 при последовательном соединении обмоток.

1 — естественная характеристика двигателя на тихоходной обмотке; *2* — то же на быстроходной; *3* — при последовательном соединении обмоток; *4* — при шунтировании быстроходной обмотки активным сопротивлением.

и шунтирующее сопротивление

$$R_ш = \sqrt{U_ф^2/I^2_{сум} - X_т^2} - R_т. \quad (7\text{-}88)$$

По значению $R_ш$ определяются эквивалентные сопротивления двигателей для заданных значений частот вращений:

$$R_{экв} = R_т + \frac{R_ш R_б (R_ш + R_б) + R_ш R_б}{(R_ш + R_б)^2 + X_б^2}; \quad (7\text{-}89)$$

$$X_{экв} = X_т + \frac{(R_ш + R_б) X_б R_ш - R_ш R_б X_б}{\left(R_ш + R_б\right)^2 + X_б^2}; \quad (7\text{-}90)$$

$$z_{экв} = \sqrt{R^2_{экв} + X^2_{экв}}. \quad (7\text{-}91)$$

Далее расчеты выполняются по (7-81)—(7-84).

На рис. 7-23 показана характеристика 4, рассчитанная из условия обеспечения при синхронной частоте вращения быстроходной обмотки $M_{сум} = 0{,}5\ M_{т\text{-}н}$.

7-5. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ

а) Общие понятия. Схемы динамического торможения

Динамическое торможение асинхронного двигателя возникает, если в обмотку статора подается постоянный ток, а ротор вращается за счет механической энергии, поступающей со стороны вала от постороннего источника, либо за счет собственного запаса кинетической энергии. Тормозной момент образуется в результате взаимодействия неподвижного потока машины с током, вызванным этим потоком, во вращающемся роторе.

Возможны две системы построения схем динамического торможения: 1) с питанием от отдельного источника постоянного тока (рис. 7-24, *а*); 2) по схемам

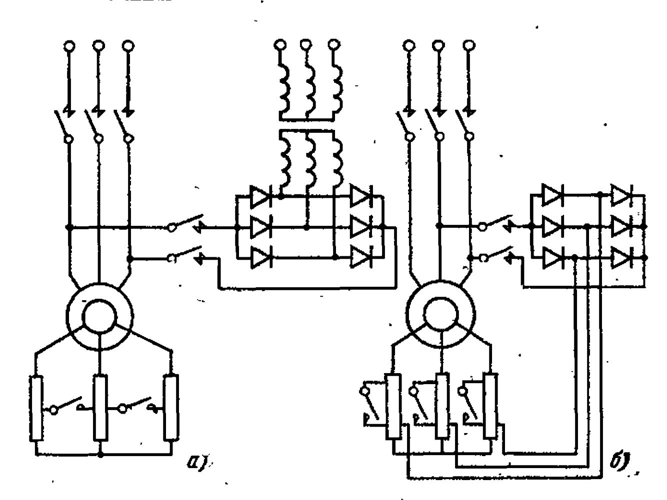


Рис. 7-24. Схемы динамического торможения.

а — с питанием от отдельного источника; *б* — в режиме самовозбуждения.

динамического торможения с самовозбуждением (рис. 7-24, *б*).

Схемы с питанием от отдельного источника хорошо известны и применяются для управления двигателями с фазным или с короткозамкнутым ротором. Динамическое торможение с самовозбуждением основано на питании статора машины от выпрямленного напряжения ротора и, следовательно, может быть применено только для регулирования скорости двигателей с фазным ротором. От обычной схемы динамического торможения система с самовозбуждением выгодно отличается отсутствием понизительного трансформатора, а также автоматической зависимостью тока возбуждения от нагрузки электродвигателя. Для крановых электроприводов, характеризуемых широким диапазоном изменения нагрузок, это имеет особо важное значение. Однако эти системы имеют ряд особенностей, которые затрудняют их применение в некоторых случаях.

Расчет систем динамического торможения зависит от схем соединения фаз статора. Возможные варианты схем соединения фаз статора приведены в табл. 7-2. Указанные схемы могут быть разделены на две группы:

1) несимметричные, в которых токи, протекающие по фазным обмоткам, не равны по значению или не одинаковы по направлению (схемы *1*—*5* и *8*);

2) симметричные, в которых токи, протекающие по обмоткам, равны по значению и одинаковы по направлению (схемы *6* и *7*).

Эти группы схем создают принципиально разные по результирующему действию м. д. с. в воздушном зазоре машины. В несимметричных схемах основное поле создается суммой первых гармоник м. д. с., а в симметричных — суммой третьих гармоник. Для двигателей с фазным ротором симметричные схемы не могут быть применены, так как обмотка фазного ротора не рассчитана на поле третьих гармоник.

б) Основные соотношения для расчета механических характеристик динамического торможения

Расчет характеристик динамического торможения производится при использовании понятия эквивалентного тока $I_{экв}$, м. д. с. которого равна м. д. с., создаваемой постоянным током $I_{пост}$, протекающим по обмоткам двигателя. Соотношения между указанными токами (коэффициенты эквивалентности) для 1-й и 3-й гармо-

Таблица 7-2

Схемы соединения обмоток статора и коэффициенты эквивалентности

Схема	$k_{экв1} = \frac{I_{экв1}}{I_{пост}}$	$k_{экв3} = \frac{I_{экв3}}{I_{пост}}$
($I_{пост}$, $U_{пит}$)	0,47	0,157
($I_{пост}$, $U_{пит}$)	0,816	—
($I_{пост}$, $U_{пит}$, $1/2\,I_{пост}$, $1/2\,I_{пост}$)	0,94	0,157
($I_{пост}$, $U_{пит}$, $I_{пост}$)	0,71	—
($I_{пост}$, $U_{пит}$, $I_{пост}$)	0,47	0,313
($I_{пост}$, $U_{пит}$, $I_{пост}$, $I_{пост}$)	—	1,41

Продолжение табл. 7-2

Схема	$k_{экв1} = \frac{I_{экв1}}{I_{пост}}$	$k_{экв3} = \frac{I_{экв3}}{I_{пост}}$
	—	1,41
	0,47	—

ник поля приведены в табл. 7-2. Значения момента рассчитываются по формуле

$$M = \frac{m_2}{\omega_c}\left(I_2'\right)^2 \frac{R_2'}{s}\,, \tag{7-92}$$

где $s = \omega/\omega_c$; m_2 — число фаз ротора.

Отметим, что в формулах данного параграфа s везде выражает относительную частоту вращения. Приведенный ток ротора согласно векторной диаграмме токов для схемы замещения асинхронного двигателя равен:

$$I_2' = \frac{I_{экв}\, x_0}{\sqrt{\left(R_2'/s\right)^2 + \left(x_0 + x_2'\right)^2}}\,. \tag{7-93}$$

Отсюда расчетная формула для момента принимает вид:

$$M = \frac{m_2\, I_{экв}^2\, x_0^2\, R_2'/s}{\omega_c\left[\left(R_2'/s\right)^2 + \left(x_0 + x_2'\right)^2\right]}\,. \tag{7-94}$$

Согласно (7-94) критический момент и критическое скольжение равны:

$$M_к = \frac{m_2\, I_{экв}^2\, x_0^2}{2\omega_c\left(x_0 + x_2'\right)}\,; \tag{7-95}$$

$$s_к = R_2'/\left(x_0 + x_2'\right). \tag{7-96}$$

При постоянном значении x_0 (без учета насыщения машины) использование выражений (7-94)—(7-96) позволяет получить для механической характеристики динамического торможения формулу, аналогичную (7-42).

$$M = \frac{2M_к}{s/s_к + s_к/s}\,. \tag{7-97}$$

Однако в отличие от обычной схемы включения динамическое торможение асинхронной машины характеризуется значительным изменением магнитного потока, что обязательно должно быть учтено при расчете характеристик, как это показано ниже.

в) Расчет механических характеристик динамического торможения асинхронного двигателя при питании его обмоток от отдельного источника по несимметричным схемам включения

Точный расчет механических характеристик динамического торможения может быть произведен только при наличии кривой намагничивания машины. Универсальная кривая намагничивания крановых машин приведена на рис. 7-25. Ниже приводится графоаналитический метод расчета характеристик. Расчет выполняется в следующей последовательности:

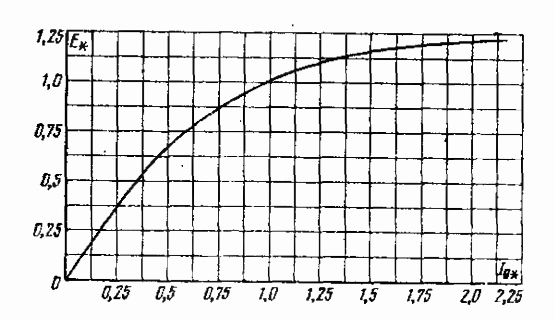


Рис. 7-25. Универсальная кривая намагничивания крановых машин.

1) задаются значения тока намагничивания в относительных единицах $I_{0*} = I_0/I_{0н}$, где $I_{0н}$ — ток холостого хода в двигательном режиме при номинальном напряжении;

2) по универсальной кривой намагничивания $E_* = f(I_{0*})$ находятся значения $E_* = \frac{E_ф}{E_{ф.н}}$ и $x_0 = \frac{E_*\, E_{ф.н}}{I_{0*}\, I_{0н}}$, где $E_ф/E_{ф.н}$ — отношение э. д. с. фазы статора к ее номинальному значению;

3) для принятого значения постоянного тока и выбранной схемы подключения статора к сети постоянного тока определяются значения тока $I_{экв}$ согласно табл. 7-2;

4) вычисляются значения R_2'/s по выражению

$$\frac{R_2'}{s} = \frac{\left(x_0 + x_2'\right)^2 - \left(I_{экв}/I_0\right)^2 x_2'^2}{\left(I_{экв}/I_0\right)^2 - 1}\,; \tag{7-98}$$

5) рассчитываются значения тока ротора по (7-93) и момента по (7-94), а также частоты вращения для принятого сопротивления ротора по выражению

$$\frac{n}{n_c} = \frac{R_2'}{R_2'/s}\,. \tag{7-99}$$

Расчет удобно выполнять, записывая результаты указанных вычислений в таблицу.

Для приближенного построения механических характеристик можно использовать зависимости (7-97), при этом входящие в указанную зависимость значения $M_к$ и $s_к$ в соответствии с усредненными экспериментальными данными могут быть определены для крановых двигателей по выражениям

$$M_к = \frac{24{,}8\left(I_{экв}/I_{0н}\right)^2}{1 + 0{,}505 I_{экв}/I_{0н}} \frac{U_{ф.н}\, I_{0н}}{n_c}\,; \tag{7-100}$$

$$s_к = \left(0{,}58\,\frac{I_{экв}}{I_{0н}} + 0{,}4\right)\frac{R_2'\, I_{0н}}{U_{ф.н}}\,. \tag{7-101}$$

Ниже будет также приведен метод расчета характеристик динамического торможения по универсальным кривым для случая регулирования тока $I_{экв}$ в функции тока ротора, частным случаем которого является рассматриваемый режим при $I_{экв}=\text{const}$.

г) Расчет характеристик асинхронных короткозамкнутых двигателей при симметричных схемах динамического торможения

При применении симметричных схем магнитное поле создается в основном суммой третьих гармоник результирующей м. д. с. Точный расчет механических характеристик в этом случае может быть выполнен аналогично изложенному для 1-й гармоники поля по параметрам двигателя, рассчитанным для 3-й гармоники поля. Однако определение указанных параметров может быть произведено только по конструктивным данным машин. Поэтому для расчета симметричных схем динамического торможения целесообразно применить приближенный аналитический метод с использованием (7-97). При этом максимальный момент от 3-й гармоники поля рассчитывается по формуле

$$M_{к3} = (k_{об3}/k_{об1})^2 M_{к1}, \qquad (7\text{-}102)$$

где $M_{к1}$ — максимальный момент от 1-й гармоники, определяемый по (7-100) для схемы 2 табл. 7-2; $k_{об1}$ и $k_{об3}$ — обмоточные коэффициенты для 1-й и 3-й гармоник магнитного поля. Критическое скольжение вычисляется согласно выражению

$$s_{к3} = \frac{1}{3} k_к s_{к1}. \qquad (7\text{-}103)$$

Графическая зависимость коэффициента $k_к$ приведена на рис. 7-26.

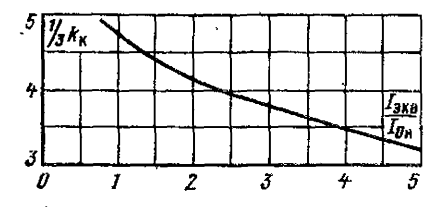


Рис. 7-26. Зависимость коэффициента $k_к$ от тока намагничивания.

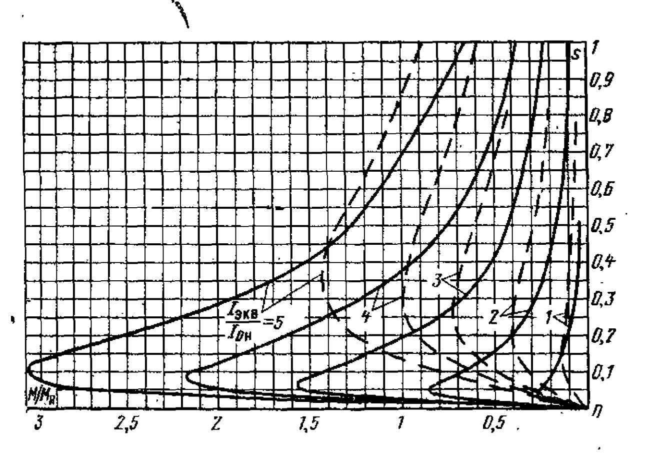


Рис. 7-27. Механические характеристики двигателя МТКН 312-4/12 в режиме динамического торможения для симметричной и несимметричной схем включения.

——— — при несимметричной схеме; — — — — при симметричной схеме (ПВ$_н$=40%).

Поскольку $k_{об3}$ значительно меньше, чем $k_{об1}$, то максимальный тормозной момент, развиваемый двигателем в симметричных схемах динамического торможения, значительно меньше, чем в схемах несимметричного соединения обмоток. Однако тормозной эффект в начальный период торможения при переходе от естественной характеристики на тормозную может быть выше, поскольку критическое скольжение $s_{к3}$ значительно больше $s_{к1}$. На рис. 7-27 приведены механические характеристики двигателя МТКН312-4/12, рассчитанные для симметричной и несимметричной схем соединения быстроходной обмотки, которые иллюстрируют изложенные выше положения.

д) Расчет механических характеристик асинхронных двигателей с фазным ротором в режиме динамического торможения с самовозбуждением по универсальным кривым (метод завода «Динамо»)

Для получения универсальных зависимостей между параметрами двигателя расчетные соотношения представляются в относительных единицах. При этом за базисные напряжения, ток статора и приведенный ток ротора, момент и скольжение принимаются

$$U_б = E_б = I_{0н} x_{0н}; \qquad (7\text{-}104)$$

$$I_б = I_{0н}; \qquad (7\text{-}105)$$

$$M_б = I_{0н}^2 r_2' m_1 / s_б \omega_с; \qquad (7\text{-}106)$$

$$s_б = r_2'/x_{0н}. \qquad (7\text{-}107)$$

С учетом указанных соотношений и схемы замещения асинхронного двигателя можно записать следующие зависимости между основными параметрами машины:

$$E_*^2 = I_{2*}'^2 \left(1/s_*^2 + x_{2*}'^2\right); \qquad (7\text{-}108)$$

$$I_{1*}^2 = \left(E_*^2 + I_{2*}'^2 x_{0*}^2 + 2I_{2*}'^2 x_{0*} x_{2*}'\right)/x_{0*}^2; \qquad (7\text{-}109)$$

$$M_* = I_{2*}'^2 / s_*, \qquad (7\text{-}110)$$

где $x_{0*} = x_0/x_{0н}$; $x_{2*}' = x_2'/x_{0н}$; $M_* = M/M_б$; $E_* = E/E_б$; $I_{1*} = I_1/I_б$; $I_{2*}' = I_2'/I_б$; $s_* = s/s_б$.

По (7-108)—(7-110) и универсальной кривой намагничивания крановых машин на рис. 7-28 и 7-29 для схемы на рис. 7-24, б построены универсальные графические зависимости $I_{2*}' = f(s_*)$; $I_{1*} = f(s_*)$, на основании которых рассчитываются кривые $I_{2*}' = f(I_{1*})$ с параметрической зависимостью от M_*, приведенные на рис. 7-30. В схеме самовозбуждения токи статора и ротора связаны соотношением

$$I_{1*} = k_с I_{2*}' + k_{экв} I_{п*}, \qquad (7\text{-}111)$$

где $I_{п*}$ — ток подпитки двигателя от внешнего источника; $k_{экв}$ — коэффициент приведения постоянного тока возбуждения, подводимого к статору, к эквивалентному по м. д. с. трехфазному току (см. табл. 7-2);

$k_с = \dfrac{k_{экв}}{k_{сх}} k_т k_д$ — коэффициент приведения тока ротора к току статора; $k_{сх}$ — коэффициент схемы выпрямления, для трехфазной мостовой схемы $k_{сх}=0{,}815$; $k_т$ — коэффициент трансформации двигателя от статора к ротору; $k_{п\text{-}с}$ — коэффициент, определяемый схемой подключения выпрямительного моста; для обычно применяемой потенциометрической схемы на рис. 7-24, б

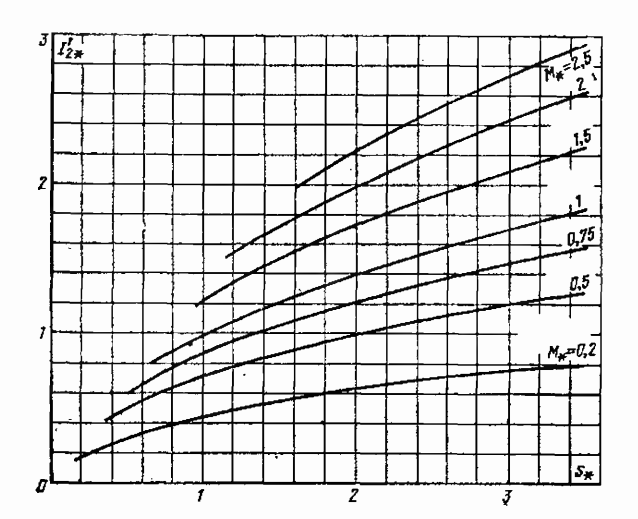


Рис. 7-28. Универсальные зависимости $I'_{2*}=f(s_*)$ для крановых двигателей.

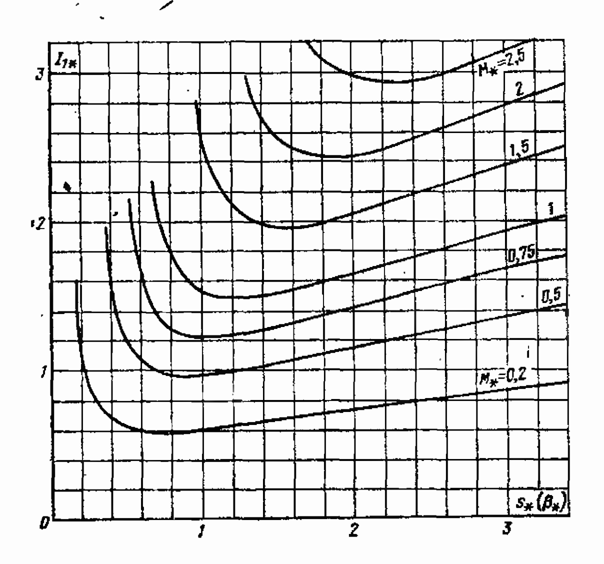


Рис. 7-29. Универсальные зависимости $I_{1*}=f(s_*)$ для крановых двигателей.

$k_{п.с}=r_{с.н}/(r_{п.с}+r_1)$, причем r_1 — сопротивление фазы статора; $r_{п\text{-}с}$ — внешнее сопротивление роторной цепи, параллельно которой включен выпрямительный мост $k_{п\text{-}с}=0{,}85\div0{,}92$.

Совместное решение графических зависимостей $I'_{2*}=f(I_{1*})$ и зависимости (7-111), являющейся уравнением прямой линии, позволяет определить значения $M_*=f(I_{1*})$ и $I'_{2*}=f(I_{2*})$ и по ним значения $s_*=f(M_*)$.

Значения s и M, необходимые для построения механических характеристик, определяются из выражений

$$s=s_* \, s_б \, \Sigma R'_2/r'_2; \tag{7-112}$$

$$M=M_* M_б; \tag{7-113}$$

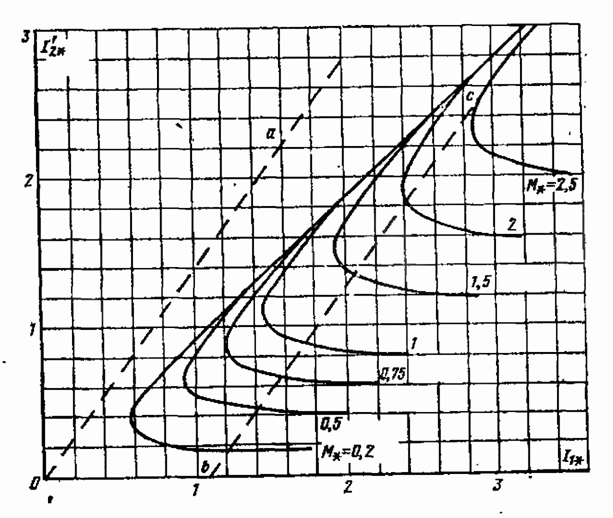


Рис. 7-30. Универсальные зависимости $I'_{2*}=f(I_{1*})$ для крановых двигателей.

здесь

$$\Sigma R'_2=\left(r_2+R_{доб}+r_1 k_{п.с} k_U\right)k_т^2=R'_2+r_1 k_{п.с} k_т^2; \tag{7-114}$$

R'_2 — значение ступени сопротивления в линии ротора; $r_1 k_{п.с} k_U k_т^2$ — дополнительное сопротивление цепи постоянного тока, приведенное к цепи переменного тока; k_U — коэффициент, учитывающий потери напряжения в выпрямительном мосте при коммутации. В практических расчетах зависимость $k_U=f(I_{d2})$ может быть принята линейной

$$k_U=1-\frac{0{,}075}{I_{d2н}}I_{d2}, \tag{7-115}$$

где I_{d2} и $I_{d2н}$ — выпрямленный ток ротора и его номинальное значение.

Приведенная методика позволяет выполнить расчет характеристик и в схемах с источником постоянного тока. При этом следует принять $I_{1*}=\text{const}$.

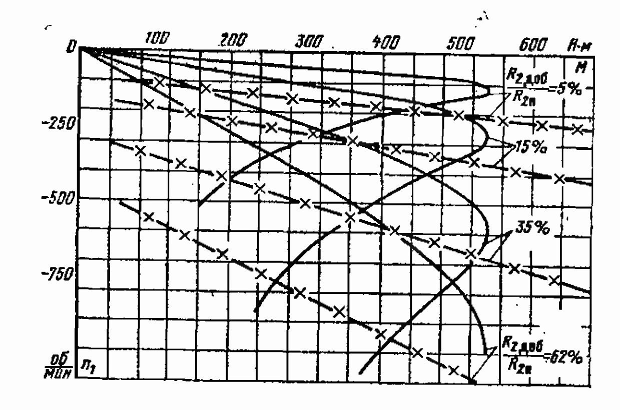


Рис. 7-31. Механические характеристики двигателя МТН412-6 в режимах динамического торможения.

——— в схемах питания от отдельного источника; —×—×—×— в режиме самовозбуждения.

На рис. 7-31 приведены механические характеристики двигателя МТН412-6 в обычной схеме динамического торможения при $I_{экв}/I_0=2$ и в режиме самовозбуждения при одинаковых сопротивлениях в цепях ротора.

е) Особенности работы асинхронного двигателя в режиме динамического торможения с самовозбуждением

Как видно из рис. 7-30, для введения двигателя в режим самовозбуждения нужно осуществить пересечение прямой $I'_{2*}=f(I_{1*})$, определяемой принятой схемой электропривода, и кривых $I'_{2*}=f(I_{1*};\ M_*)$, характерных для асинхронного двигателя. Кривые $I'_{2*}=f(I_{1*};\ M_*)$ при заданном M и $s_*\to 0$ и, следовательно, $I'_{2*}\to\infty$, как следует из (7-109), асимптотически приближаются к кривой, определяемой зависимостью

$$I_{1*}=I'_{2*}\sqrt{1+2x'_2/x_0}\ . \qquad (7\text{-}116)$$

Сопоставляя (7-111) и (7-116), можно получить в аналитическом виде условие самовозбуждения асинхронной машины в режиме динамического торможения без подпитки от постороннего источника:

$$k_c\geqslant\sqrt{1+2x'_2/x_0}\ . \qquad (7\text{-}117)$$

Коэффициент k_c может быть назван коэффициентом самовозбуждаемости машины.

Если условие (7-117) не выполняется, необходимо обеспечивать подпитку двигателя от отдельного источника постоянного тока. Минимальный ток подпитки определяется требуемым максимальным моментом и может быть найден путем нанесения на графики (рис. 7-30) $I'_{2*}=f(I_{1*},\ M_*)$ прямой bc, проходящей параллельно прямой $0a$ с уравнением $I'_{2*}=I_{1*}/k_c$, и являющейся касательной к кривой $I'_{2*}=f(I_{1*},\ M_*)$ для требуемого значения момента M_*. Отрезок $0b$ в масштабе равен току подпитки $I_{п*}$. Ток подпитки при заданных значениях M_* и принятой схемы электропривода определяется коэффициентом трансформации $k_т$.

На рис. 7-32 построен график зависимости $I_п/I_{0н}=f(k_т)$, рассчитанной для крановых двигателей при $M_*=2{,}5$. По найденному значению тока $I_п$ может быть рассчитана схема узла подпитки. Следует отметить, что даже в случае выполнения условия самовозбуждения для обеспечения устойчивой работы электропривода в установившихся режимах следует сохранить узел подпитки. При этом ток подпитки может составлять 3—5% номинального тока двигателя.

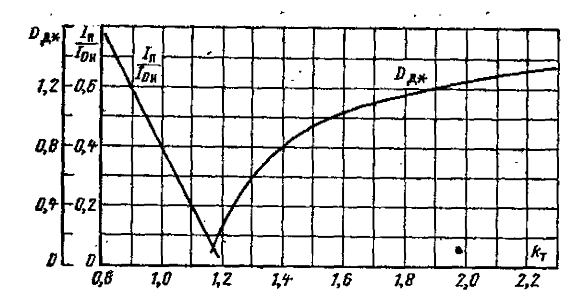


Рис. 7-32. Зависимости тока подпитки и параметра $D_{д*}$ от коэффициента трансформации асинхронного двигателя.

Электроприводы в режиме динамического торможения с самовозбуждением имеют сравнительно высокие показатели регулирования скоростей. Отношение номинальной скорости подъема груза к минимальной скорости его спуска при одинаковом моменте нагрузки определяется степенью возбуждаемости машины и может быть найдено из выражения

$$D_д=1/s=1/s_*s_б=D_{д*}/s_б, \qquad (7\text{-}118)$$

где $D_д$ — диапазон регулирования при динамическом торможении; $D_{д*}=1/s_*$.

Зависимость $D_{д*}$ в функции коэффициента трансформации для крановых машин также построена на рис. 7-32.

7-6. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

а) Общие вопросы

Как будет показано в разд. 10, для крановых электроприводов промышленностью выпускаются тиристорные системы частотного и фазового управления. В ряде случаев применяется также система импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора двигателя. Системы фазового и импульсного управления как системы параметрического регулирования, имеющие повышенные потери при регулировании, применяются только для управления двигателями с фазным ротором. Электроприводы с частотным управлением в основном применяются для управления короткозамкнутыми двигателями, однако в определенных условиях оказывается целесообразным их применение для обеспечения малых и посадочных скоростей в электроприводах с электродвигателями с фазным ротором. Примером могут служить электроприводы, в которых малогабаритные ПЧ со стабильными выходными значениями частоты и напряжения используются как источники питания двигателей сложных крановых комплексов для получения устойчивой малой скорости во всех четырех квадрантах работы электропривода.

Рассмотрим расчет характеристик асинхронных двигателей в системах тиристорного электропривода, нашедших практическое применение для крановых механизмов.

б) Расчет характеристик асинхронных двигателей в системе частотного регулирования

Общие понятия и основные соотношения. При частотном управлении осуществляется регулирование скорости асинхронных двигателей посредством изменения частоты и амплитуды питающего напряжения. Соотношения между изменениями указанных параметров определяются законом частотного управления, выбор которого производится для конкретного электропривода из условий получения требуемых характеристик и возможностей реализации его системой управления.

Частотное регулирование по сравнению с другими способами имеет ряд важных преимуществ: регулирование производится при малых потерях скольжения, возможно плавное изменение скорости и формирование необходимых механических характеристик и, что особенно существенно, обеспечивается возможность использования в регулируемых электроприводах короткозамкнутых асинхронных машин. Для частотного регулирования электропривод должен кроме двигателя иметь ПЧ.

Для анализа свойств асинхронного двигателя при частотном регулировании применяют Т-образную схему замещения (рис. 7-33). При этом используются три основных относительных параметра: частоты $\alpha=f_1/f_{1н}$; абсолютного скольжения $\beta=\Delta\omega/\omega_{с.н}=f_2/f_{1н}$ и напряжения

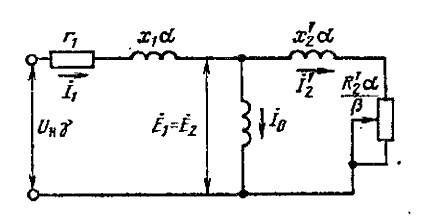


Рис. 7-33. Схема замещения асинхронного двигателя при частотном управлении.

$\gamma=U_ф/U_{ф.н}$. Здесь f_1, $f_{1н}$ и f_2 — частоты соответственно питающего напряжения, номинальная и тока ротора; $\Delta\omega/\omega_{с.н}$ — отношение абсолютного скольжения к синхронной скорости при частоте $f_{1н}$; $U_ф$; $U_{ф.н}$ — действующие значения фазного напряжения питания и номинальное.

Основные зависимости, характеризующие работу двигателя, определяются из схемы замещения и имеют вид:

$$M=\frac{m_1U_{ф.н}^2}{\omega_{с.н}}\gamma^2\times$$
$$\times\frac{1}{2r_1\alpha+(b^2+c^2\alpha^2)\frac{\beta}{R_2'}+(d^2+e^2\alpha^2)\frac{R_2'}{\beta}};\quad(7\text{-}119)$$

$$I_1=U_{ф.н}\gamma\times$$
$$\times\sqrt{\frac{R_2'/\beta_2x_0^2+(1+\tau_2)^2}{2r_1\left(\frac{R_2}{\beta}\alpha\right)+(b^2+c^2\alpha^2)+(d^2+e^2\alpha^2)\frac{R_2'^2}{\beta^2}}};\quad(7\text{-}120)$$

$$I_2'=U_{ф.н}\gamma\times$$
$$\times\frac{1}{\sqrt{2r_1\frac{R_2'}{\beta}\alpha+(b^2+c^2\alpha^2)+(d^2+e^2\alpha^2)\frac{R_2'^2}{\beta^2}}};\quad(7\text{-}121)$$

$$\Phi=\frac{U_{ф.н}}{c_1f_{1н}}\gamma\times$$
$$\times\sqrt{\frac{b_2'^2/\beta^2+x_2'^2}{2r_1\frac{R_2'}{\beta}\alpha+(b^2+c^2\alpha^2)+(d^2+e^2\alpha^2)\frac{R_2'^2}{\beta^2}}};\quad(7\text{-}122)$$

$$s=\beta/\alpha.\quad(7\text{-}123)$$

Выражение момента через поток можно представить в виде

$$M=\frac{m_1c_1^2f_{1н}\Phi^2R_2'/\beta}{\omega_{с.н}\left(R_2'/\beta+x_2'^2\right)}.\quad(7\text{-}124)$$

В этих выражениях принято:

$$b=r_1(1+\tau_2);\quad c=x_0\tau;\quad d=r_1/x_0;$$

$$e=1+\tau_1;\quad(7\text{-}125)$$

$$\tau=\tau_1+\tau_2+\tau_1\tau_2;\quad c_1=4{,}44w_1k_{об1};\quad \tau_1=x_1/x_0;$$
$$\tau_2=x_2'/x_0;$$
$$R_2'=r_2'+R_{2д}'.$$

Для короткозамкнутых машин $R_2'=r_2'$.

Механическая характеристика описывается выражением (7-119). Частота вращения пересчитывается при этом по формуле

$$n=\frac{30}{\pi}\omega_{с.н}(\alpha-\beta)=n_{с.н}(\alpha-\beta).\quad(7\text{-}126)$$

Таким образом, момент двигателя является функцией трех параметров α; β и γ. В общем случае напряжение регулируется в функции частоты и нагрузки, т. е. $\gamma=f(\alpha;\ \beta)$. При этом критическое скольжение определится приравниванием нулю частотной производной $\partial M/\partial\beta$, в соответствии с чем из (7-119) следует:

$$\frac{\partial M}{\partial\beta}=2\frac{\partial\gamma(\alpha;\ \beta)}{\partial\beta}\xi(\alpha;\ \beta)+\frac{\partial\xi(\alpha;\ \beta)}{\partial\beta}\gamma(\alpha;\ \beta)=0,\quad(7\text{-}127)$$

где

$$\xi(\alpha;\ \beta)=$$
$$=\frac{1}{2r_1\alpha+(b^2+c^2\alpha^2)\frac{\beta}{R_2'}+(d^2+e^2)\frac{R_2'}{\beta}}.\quad(7\text{-}128)$$

В частном случае γ не зависит от β и критическое скольжение определится из уравнения

$$dM/d\beta=d\xi(\alpha;\ \beta)/d\beta=0.\quad(7\text{-}129)$$

Механические характеристики, так же как и выражения для критических момента и скольжения, определяются законом частотного управления по конкретной зависимости $\gamma=f(\alpha;\ \beta)$.

Законы частотного управления и определяемые ими особенности работы асинхронных двигателей. Законы частотного управления можно разделить на три основные группы:

1) управление напряжением только в функции частоты по заданной зависимости $\gamma=f(\alpha)$;

2) непрерывное управление напряжением в функции частоты и параметра скольжения: $\gamma=f(\alpha;\ \beta)$, обеспечивающее компенсацию падения напряжения в сопротивлениях статора. Частным случаем такого управления является поддержание постоянства магнитного потока;

3) оптимальное управление по минимуму потерь, тока или других параметров асинхронного двигателя.

Управление по оптимальным законам может быть обеспечено только при учете нелинейности кривой намагничивания машины и управлении напряжением в функции трех параметров: частоты; параметра скольжения и момента нагрузки: $U=f(\alpha;\ \beta;\ \mu)$.

Наиболее простым для реализации является управление $\gamma=f(\alpha)$. Из (7-127) при $\gamma=f(\alpha)$ можно определить выражения для критического момента и скольжения:

$$M_к=\frac{m_1U_{ф.н}^2}{2\omega_{с.н}}\gamma^2\frac{1}{r_1\alpha\pm\sqrt{(b^2+c^2\alpha^2)(d^2+e^2\alpha^2)}};\quad(7\text{-}130)$$

$$\beta_к=\pm r_2'\sqrt{(d^2+e^2\alpha^2)/(b^2+c^2\alpha^2)}.\quad(7\text{-}131)$$

Знак + относится к двигательному режиму, — к генераторному.

Основным недостатком регулирования $\gamma = f(\alpha)$, как следует из (7-130) и (7-131), является отрицательное влияние активного сопротивления статора на характеристики двигателя при понижении частоты, приводящее к снижению максимального момента и потери устойчивости работы двигателя на малых частотах.

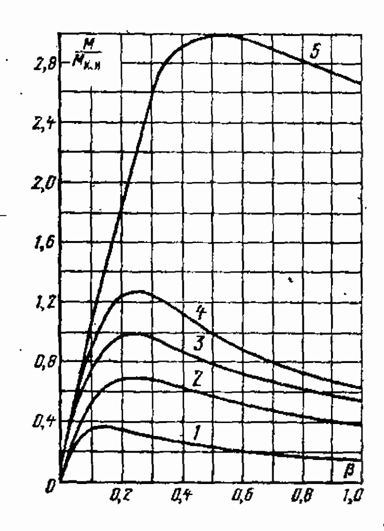


Рис. 7-34. Механические характеристики асинхронного двигателя МТКН412-6 при частотном управлении.

На рис. 7-34 построены механические характеристики $M = f(\beta)$ кранового двигателя МТКН412-6, рассчитанные по (7-119) для частот 6, 20 и 50 Гц (кривые *1*, *2* и *3*) при пропорциональном регулировании $\gamma = \alpha$.

Регулирование $U = f(\alpha;\ \beta)$ дает более широкие возможности для обеспечения большого диапазона регулирования. Благодаря непрерывной компенсации падения напряжения на сопротивлениях статора перегрузочная способность двигателя может сохраняться независимой от частоты. Наиболее благоприятным является регулирование по закону $\Phi = \text{const}$ (с полной компенсацией падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях статора). Выражение для механических характеристик при этом записывается в виде

$$M = \frac{m_1 U^2_{ф.н}}{\omega_{с.н}} \frac{R_2'/\beta}{\left(R_2'^2/\beta^2 + x_2'^2\right)\left(d^2 + e^2\right)}, \qquad (7\text{-}132)$$

а критические момент и скольжение равны

$$M_к = m_1 U^2_{ф.н}/2\omega_{с.н}\, x_2'; \qquad (7\text{-}133)$$

$$\beta_к = \pm R_2'/x_2'. \qquad (7\text{-}134)$$

Анализ приведенных зависимостей показывает, что при управлении с компенсацией падения напряжения на сопротивлениях статора:

1) критический момент, абсолютное скольжение и токи двигателя не зависят от частоты питающего напряжения;

2) механические характеристики параллельны (критические момент и параметр абсолютного скольжения постоянны во всем диапазоне регулирования);

3) управление по закону $U = f(\alpha;\ \beta)$, и особенно $\Phi = \text{const}$, позволяет обеспечить увеличение критического момента двигателя по сравнению с моментом на естественной характеристике.

На рис. 7-34 помимо механических характеристик при управлении по закону $U = f(\alpha)$ построены характеристики при компенсации падения напряжения на активных сопротивлениях статора и при управлении $\Phi = \text{const}$, иллюстрирующие изложенные положения (соответственно кривые *4* и *5*).

Управление по законам минимума потерь или тока двигателя обеспечивает максимальное использование кранового двигателя, однако наиболее сложно в реализации, поэтому для крановых механизмов такое управление обычно осуществляется не во всей зоне регулирования, а в наиболее характерных режимах работы.

Расчет механических характеристик с учетом насыщения. Расчет механических характеристик по (7-119) без учета насыщения двигателя может привести к большим погрешностям, особенно в зоне $M > M_н$.

Ниже приводится разработанная на заводе «Динамо» методика расчета механических характеристик асинхронного двигателя в системе частотного регулирования с учетом нелинейности кривой намагничивания по универсальным номограммам.

При использовании базисных величин, введенных в § 7-5, *д*, для частотно-регулируемой асинхронной машины можно написать следующие выражения:

$$u_* = \sqrt{E_*^2 + I_{1*}^2 z^2_{экв*}}\ ; \qquad (7\text{-}135)$$

$$z_{экв*} = \frac{A}{\alpha^2} + \frac{r_{1*}}{\alpha} B(\beta_*,\ \mu) + C(\beta_*,\ \mu), \qquad (7\text{-}136)$$

где

$$\left.\begin{aligned} A = r_{1*}^2;\quad B &= \frac{2x_{0*}^2\,\beta_*}{1 + \beta_*^2\left(1 + x_{2*}'/x_{0*}\right)^2 x_{0*}^2}\ ;\\ C &= \frac{2x_{1*}/x_{0*}}{1 + \beta_*^2\left(1 + x_{2*}'/x_{0*}\right)^2}\ ; \end{aligned}\right\} \qquad (7\text{-}137)$$

здесь $r_{1*} = r_1/x_{0н}$; $x_{1*} = x_1/x_{0н}$; $x_{2*}' = x_2'/x_{0н}$; $x_{0*} = x_0/x_{0н}$; $\beta_* = \beta/\beta_н$.

В соответствии с (7-136) эквивалентное сопротивление $z_{экв*}$ является функцией параметра абсолютного скольжения β_*, момента двигателя и частоты питающего напряжения. Универсальные зависимости $B = f(\beta_*;\ M_*)$

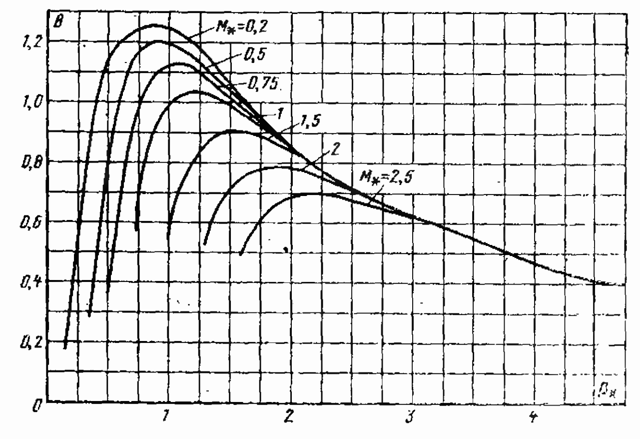


Рис. 7-35. Универсальные номограммы зависимостей $B = f(\beta_*;\ M_*)$ для крановых электродвигателей.

и $C=f(\beta_*;\ M_*)$ для крановых двигателей с параметром M_* построены на рис. 7-35 и 7-36. При их использовании расчет механических характеристик сводится к совместному графическому решению зависимости $U_*=f(\alpha;\ \beta)$, определяющей закон частотного управления, и зависимости (7-135). Для построения зависимости (7-135) определяется $z_{экв*}$ по универсальным номограммам для

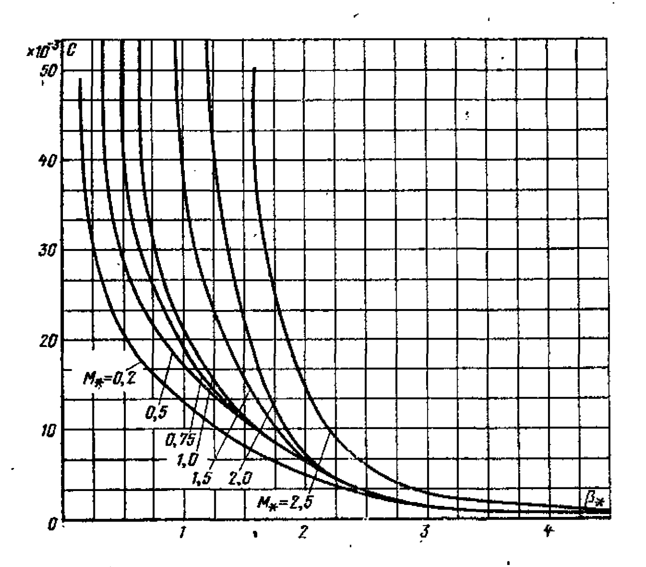


Рис. 7-36. Универсальные номограммы зависимостей $C=f(\beta_*;\ M_*)$.

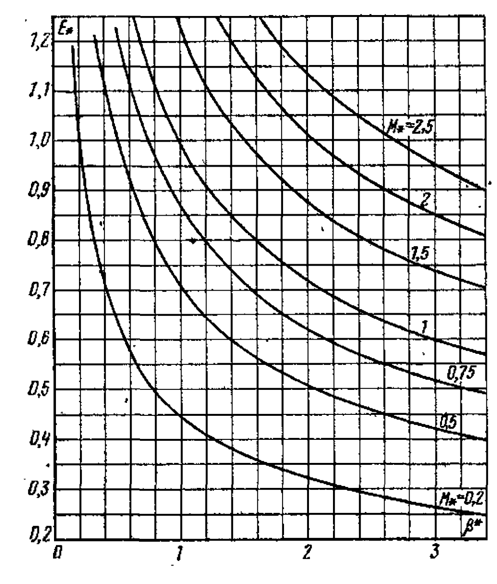


Рис. 7-37. Универсальные номограммы зависимостей $\varepsilon=f(\beta_*;\ M_*)$.

$B=f(\beta_*;\ M_*)$ и $C=f(\beta_*;\ M_*)$ и проводятся вычисления по (7-135). Необходимые универсальные зависимости для $E_*=f(\beta_*,\ M_*)$ приведены на рис. 7-37, а $I_{1*}=f(\beta_*;\ M_*)$ — на рис. 7-29.

в) Расчет механических характеристик асинхронного двигателя в системе с тиристорным регулятором напряжения

В системе на рис. 7-38, *а* регулирование напряжения двигателя осуществляется путем изменения угла α открывания вентилей. Регулированию α от 0 до 150° соответствует изменение напряжения на двигателе от номи-

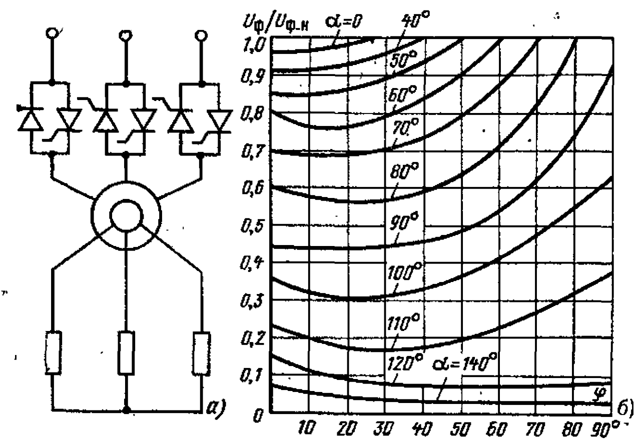


Рис. 7-38. Схема регулятора (*а*) и зависимости первой гармоники напряжения на выходе регулятора напряжения от углов α и φ (*б*).

нального до нуля. При таком способе регулирования кривая выходного напряжения имеет сложную форму и содержит помимо первой все нечетные (и не кратные трем) гармонические составляющие. Однако амплитуды высших гармонических составляющих напряжения невелики и практически не оказывают влияния на развиваемый двигателем момент.

Расчет механических характеристик, если пренебречь сопротивлением тиристорного регулятора, может быть выполнен по выражениям, приведенным в § 7-4, *е*, при наличии зависимостей для выходного напряжения регулятора. Указанное напряжение является функцией угла открывания вентилей и угла нагрузки φ. Для определения угла φ двигатель представляется активно-индуктивной схемой, соответствующей схеме замещения с вынесенным контуром намагничивания. При этом угол φ определяется выражением

$$\varphi=\operatorname{arctg}\frac{x_{дв.экв}}{R_{дв.экв}}=\operatorname{arctg}\frac{R_2'/x_0\,s^2+x_к}{R_1R_2'/x_0^2\,s^2+R_2'/s+R_1}, \quad (7\text{-}138)$$

где $x_{дв.экв}$ и $R_{дв.экв}$ — эквивалентные активное и индуктивное сопротивления фазы двигателя при скольжении s, определяемые схемой замещения асинхронного двигателя.

Зависимости $U_ф/U_{ф.н}=f(\varphi;\ \alpha)$ для симметричного тиристорного регулятора напряжения приведены на рис. 7-38, *б*.

Таким образом, для построения механических характеристик необходимо для ряда значений скольжений s найти соответствующий им момент на естественной характеристике и угол φ. Затем по φ при заданном α следует определить по графикам на рис. 7-38 напряжение на выходе регулятора и рассчитать момент по (7-65).

г) Импульсное регулирование тока ротора асинхронных двигателей

Этот метод регулирования является перспективным для крановых электроприводов, так как позволяет до-

статочно просто совместить свойства традиционных систем управления двигателями с фазным ротором и достоинствами динамического торможения с самовозбуждением. В то же время применение указанного метода регулирования позволяет в замкнутых системах без применения датчиков скорости получать жесткие характеристики и ограничения по моменту. Недостатком рассматриваемых систем является необходимость узла конденсаторной коммутации тиристоров и повышенные требования к полупроводниковым вентилям.

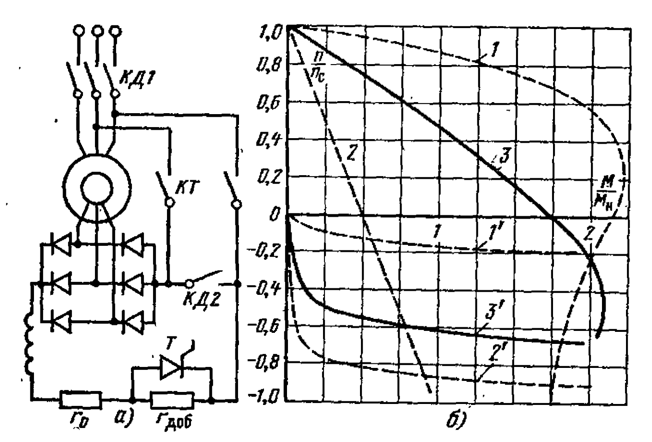


Рис. 7-39. Принципиальная схема и механические характеристики электропривода с импульсным регулированием тока ротора асинхронных двигателей.

а — схема; *б* — механические характеристики ($ПВ_н$=40%); *КД1* и *КД2* — контакторы, включающиеся в двигательном режиме; *КТ* — контактор, включающийся в режиме динамического торможения с самовозбуждением.

На рис. 7-39, *а* и *б* приведена принципиальная схема силовой части электропривода с импульсным регулированием тока ротора асинхронного двигателя и механические характеристики *1* и *2* в разомкнутой системе. Регулирование осуществляется посредством попеременного закорачивания и введения сопротивления $r_{доб}$, выполняемого тиристором *Т*. Если бы роторная цепь двигателя была безындуктивной, то двигатель попеременно разгонялся по характеристике *1* (при включении тиристора), соответствующей сопротивлению r_0 и замедлялся по характеристике *2* (при выключении тиристора), соответствующей сопротивлению $r_0+r_{доб}$. В режиме динамического торможения с самовозбуждением (характеристика *1'* и *2'*) силовая цепь замыкается на обмотку статора двигателя.

Приведенные на рис. 7-39 хаарктеристики *3* и *3'* представляют собой характеристики в замкнутой системе электропривода.

Расчет характеристик выполняется по формулам § 7-4 при регулировании в режимах двигательном и противовключения и по формулам § 7-5 в режиме динамического торможения с самовозбуждением.

При этом приведение сопротивления контура постоянного тока к цепи ротора выполняется по соотношению

$$r_{пр}=r_{пост}/2k_U, \qquad (7\text{-}139)$$

где k_U — определяется по (7-115).

Сопротивление контура постоянного тока с учетом влияния электромагнитных процессов, вызванных импульсным управлением тока, определяется выражением

$$r_{пост}=r_0+r_{доб}(1-\gamma\xi), \qquad (7\text{-}140)$$

где γ — скважность включения тиристора; ξ — параметр, зависящий от тока нагрузки, частоты коммутации и построения узла коммутации; в практических расчетах можно принять $\xi=k_U^2$.

Описанная здесь методика расчета дает практически приемлемую точность расчетов для асинхронных машин крановой серии.

7-7. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ СОВМЕЩЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

а) Общие вопросы

Помимо рассмотренных в предыдущих параграфах методов регулирования скорости асинхронных двигателей в крановых электроприводах широко применяется совмещение различных методов регулирования отдельных элементов электропривода для получения требуемых характеристик. Применение такого регулирования в ряде случаев оказывается экономически более эффективным, чем использование, например, тиристорных электроприводов, особенно учитывая вопросы их эксплуатации. Не приводя все возможные варианты построения электроприводов с совмещением различных методов регулирования, рассмотрим только наиболее широко применяемые, к которым относятся: двухдвигательные электроприводы; электроприводы при питании ротора от внешнего выпрямителя; двухтоковые системы питания короткозамкнутых двигателей.

б) Двухдвигательные электроприводы с общим механическим валом

Такие электроприводы находят широкое применение для крановых механизмов благодаря ряду достоинств, к которым относятся: возможность регулирования скоростей и момента при большом диапазоне регулирования, снижение суммарного момента инерции системы по сравнению с однодвигательным электроприводом той же мощности, возможность создания систем большой мощности при использовании серийных машин, упрощение в ряде случаев кинематической схемы крана и др.

Регулирование скоростей и моментов основано на принципе сложения механических характеристик. Характерными примерами использования указанного принципа являются электроприводы, схемы и механические характеристики которых приведены на рис. 7-40. Двухдвигательный электропривод по схеме на рис. 7-40, *а* состоит из тормозной машины вихревого типа ТМ, имеющей механическую характеристику *1*, *1'* (в IV квадранте) и основной асинхронной машины *М* с фазным ротором, работающей на характеристике *2* (или *2'*) в двигательном режиме с большим сопротивлением в цепи ротора. Суммарные характеристики *3* и *3'* позволяют получить стабильную посадочную скорость в зоне моментов от $0{,}2M_н$ до $M_н$ и установочную скорость при подъеме груза. В электроприводе по схеме на рис. 7-40, *б* аналогичные характеристики достигаются путем суммирования характеристики *1'* динамического торможения основной машины с минимальным сопротивлением в цепи ротора и естественной характеристики *2'* 24-полюсной асинхронной машины. Такие системы применяются для механизмов подъема башенных кранов.

Возможны и другие различные реализации двухдвигательных электроприводов для получения необходимых регулировочных характеристик.

При создании двух- или многодвигательных электроприводов во многих случаях возникает задача (из-за отсутствия серийных машин достаточной мощности) рас-

пределения суммарной нагрузки между отдельными двигателями. Эти вопросы наиболее просто решаются графическим путем. На рис. 7-41 показано распределение нагрузок между двумя асинхронными двигателями, механические характеристики которых на рабочих участках имеют разную жесткость. Двигатель с более мягкой механической характеристикой оказывается нагруженным

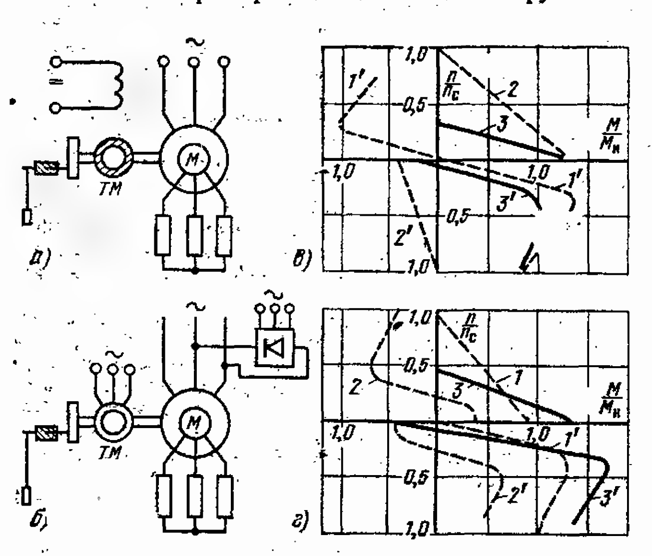


Рис. 7-40. Схемы и характеристики двухдвигательных электроприводов.

а — с вихревым тормозом; *б* — со вспомогательной 24-полюсной асинхронной машиной; *в* и *г* — механические характеристики.

меньше. Это может привести к превышению температуры и выходу из строя второго двигателя.

Если характеристики двигателей принять прямолинейными, то, учитывая равенство скоростей холостого хода асинхронных приводов в обычных схемах регулирования, можно показать, что нагрузки машины распре-

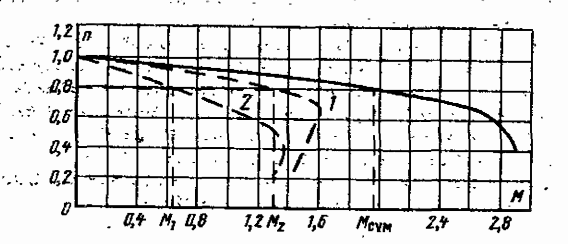


Рис. 7-41. Механические характеристики двухдвигательного электропривода с распределением нагрузок.

деляются пропорционально жесткостям их механических характеристик:

$$M_1 = \frac{\beta_1}{\beta} M_{ст}; \quad M_2 = \frac{\beta_2}{\beta} M_{ст}; \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2}, \qquad (7\text{-}141)$$

где β_1, β_2 и β — жесткости механических характеристик *1*, *2* и результирующей; M_1, M_2 и $M_{ст}$ — моменты двигателей и статический.

Для таких электроприводов вопросы выравнивания мощности решаются относительно просто путем перехода на более мягкие механические характеристики. Для регулируемых электроприводов (например, для частотно-управляемых) возможно неравенство частот вращения холостого хода. При этом нагрузки распределяются в соответствии с выражениями

$$M_1 = \beta_1 (\omega_{c1} - \omega + M_{ст}/\beta);$$
$$M_2 = \beta_2 (\omega_{c2} - \omega + M_{ст}/\beta), \qquad (7\text{-}142)$$

где ω_{c1} и ω_{c2} — синхронные угловые скорости двигателей.

Если принять $\omega_{c2} < \omega_{c1}$, то вторая машина может перейти в режим генераторного торможения при

$$M_{ст} < \omega_c - \omega_{c2}/\beta,$$

где $\omega_c = \omega_{c1}\beta_1/\beta + \omega_{c2}\beta_2/\beta$.

Это означает, что первый двигатель преодолевает не только момент сопротивления привода, но и тормозной момент второго двигателя, поэтому при проектировании таких электроприводов нужно принимать специальные меры для выравнивания нагрузок.

в) Механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором в системе с питанием ротора от внешнего выпрямителя

Рассматриваемые системы в настоящее время находят применение для электроприводов механизмов передвижения крановых механизмов благодаря возможности при относительно простой силовой схеме получить достаточно большой диапазон регулирования скоростей. Схема электропривода приведена на рис. 7-42, *а*. Наличие двух нерегулируемых мостов позволяет обеспечить регулирование только в двигательном режиме (первый

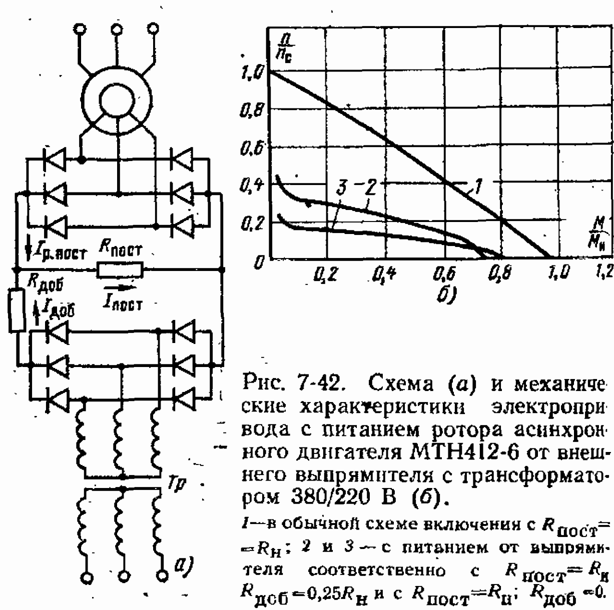


Рис. 7-42. Схема (*а*) и механические характеристики электропривода с питанием ротора асинхронного двигателя МТН412-6 от внешнего выпрямителя с трансформатором 380/220 В (*б*).

1 — в обычной схеме включения с $R_{пост} = R_н$; *2* и *3* — с питанием от выпрямителя соответственно с $R_{пост} = R_н$, $R_{доб} = 0{,}25R_н$ и с $R_{пост} = R_н$; $R_{доб} = 0$.

и третий квадранты) и в режиме противовключения. Получаемые при этом механические характеристики, рассчитанные для двигателя МТН412-6, приведены на рис. 7-42, *б*. Недостатком системы являются повышенные потери, поскольку в сопротивлениях $R_{пост}$ и $R_{доб}$ выделяются не только потери скольжения, но и потери энергии от внешнего источника питания. Характерными точками

механических характеристик, определяющими параметры электропривода, являются частота вращения $n_0=n_{с.н}(1-s_0)$ при $M=0$ и пусковой момент $M_п$ при $n=0$; скольжение s_0 определяется выражением

$$s_0=\frac{U_{тр.л}R_{пост}}{E_{2н}(R_{доб}+R_{пост})}, \qquad (7\text{-}143)$$

где $U_{тр.л}$ — линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора; $E_{2н}$ — э. д. с. на кольцах неподвижного ротора при номинальном напряжении на статоре.

Для снижения потерь в системе вторичное напряжение трансформатора должно подбираться из условия $U_{тр.л}\approx E_{2н}$. При выполнении указанного условия в точке $n=0$ выпрямитель питания запирается и ток двигателя полностью идет на создание момента. Момент $M_п$, Н·м, при этом равен:

$$M_п=2{,}86\,\frac{E_{2н}k_U k_I}{(0{,}5R_{пост}+r_2)n_с}; \qquad (7\text{-}144)$$

здесь k_U — коэффициент, учитывающий потери напряжения в выпрямительном мосту при коммутации тока ротора, рассчитывается по (7-115); k_I — коэффициент, учитывающий несинусоидальность тока в цепи мостов, который можно принять равным 0,95.

Однако выполнение условия $U_{тр.л}\approx E_{2н}$ не всегда возможно. В этом случае момент двигателя оказывается меньше рассчитанного по (7-144). Расчет остальных точек механических характеристик выполняется в следующей последовательности. Зададимся напряжением $U_{пост}$ на сопротивлении $R_{пост}$ и найдем ток $I_{пост}$:

$$I_{пост}=U_{пост}/R_{пост}. \qquad (7\text{-}145)$$

Определим ток, протекающий по добавочному сопротивлению,

$$I_{доб}=(U_{тр.л}k_{сxU}k_U-U_{пост})/R_{доб}, \qquad (7\text{-}146)$$

где $k_{сxU}=1{,}35$ для трехфазной мостовой схемы.

Найдем ток на выходе выпрямительного моста ротора

$$I_{р.пост}=I_{пост}-I_{доб}, \qquad (7\text{-}147)$$

по которому рассчитываются токи ротора

$$I_2=k_{сxI}k_I I_{р.пост}, \qquad (7\text{-}148)$$

где $k_{сxI}=0{,}816$ — для трехфазной мостовой схемы.

Рассчитаем сопротивление цепи ротора

$$R_р=E_{2н}/\sqrt{3}\,k_U I_2. \qquad (7\text{-}149)$$

Зная I_2, можно определить моменты по естественной характеристике двигателя или по (7-44) (см. § 7-4). Скольжение рассчитываем по (7-45).

В ряде случаев при построении двухдвигательных приводов соблюдается условие $2E_{2н}\geqslant U_с$ и трансформатор в узле источника питания может быть исключен.

Проведенная методика расчета справедлива для асинхронных машин крановой серии.

г) Механические характеристики асинхронного короткозамкнутого двигателя при питании от двух источников

Рассматриваемый способ управления основан на совместном питании обмоток асинхронного двигателя постоянным током и трехфазным переменным током обратной последовательности. Трехфазная система токов приводит к созданию двигательного момента в нормальном режиме работы асинхронной машины или при снижении напряжения питания (кривые 1 и 2 на рис. 7-43 соответственно). Постоянный ток определяет характеристику динамического торможения (кривая 3). Результирующая характеристика 4 имеет жесткий участок в области низких скоростей.

Для получения рассматриваемого способа управления могут быть использованы симметричные и несимметричные схемы. В симметричных схемах в каждой из

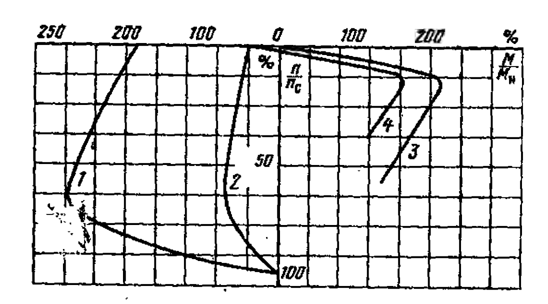


Рис. 7-43. Механические характеристики асинхронного короткозамкнутого двигателя в схемах двухтокового питания.

фаз двигателя текут равные и одинаковые по направлению постоянные и переменные токи. В несимметричных схемах это условие не соблюдается, и работа двигателя сопровождается вибрациями, поэтому практическое применение находят только симметричные схемы, что и обусловливает построение таких систем только с короткозамкнутыми двигателями.

Схемы получения ползучих скоростей при двухтоковом питании делятся на схемы без отдельного источника питания (рис. 7-44, *а—в*) и с отдельными источником постоянного тока (рис. 7-44, *г—д*), причем на схеме рис. 7-44, *д* показано управление двухскоростным двигателем с раздельными статорными обмотками. Расчет характеристик сводится к построению отдельных составляющих моментов к последующему их суммированию. В схемах без источника постоянного тока ток в обмотке статора определяется выражением

$$I=\frac{2I_{mi}}{\pi}\left(\frac{1}{2}+\frac{\pi}{4}\cos\omega t+\frac{1}{3}\cos 2\omega t\right)+ + I_{m2}(\cos\omega t-\varphi), \qquad (7\text{-}150)$$

где I_{m1} — максимальное значение тока в цепи вентиля; I_{m2} — максимальное значение тока в цепи активного сопротивления звезды; ψ — угол сдвига фаз между токами I_{m1} и I_{m2}.

В соответствии с (7-150) составляющая динамического торможения определяется постоянным током I_{m1}/π и может быть рассчитана по формулам § 7-5. Основная составляющая вращающегося поля создается системой трехфазных токов $\frac{I_{mi}}{2}\cos\omega t+I_{m2}\cos(\omega t-\psi)$.

Кроме того, трехфазная система токов удвоенной частоты $\frac{2I_{mi}}{3\pi}\cos 2\omega t$ создает момент противовключения. Указанные составляющие рассчитываются по формулам § 7-4.

В схемах с отдельным источником питания расчет выполняется непосредственно по токам режимов динамического торможения и трехфазного питания с добавочными резисторами в цепи статора.

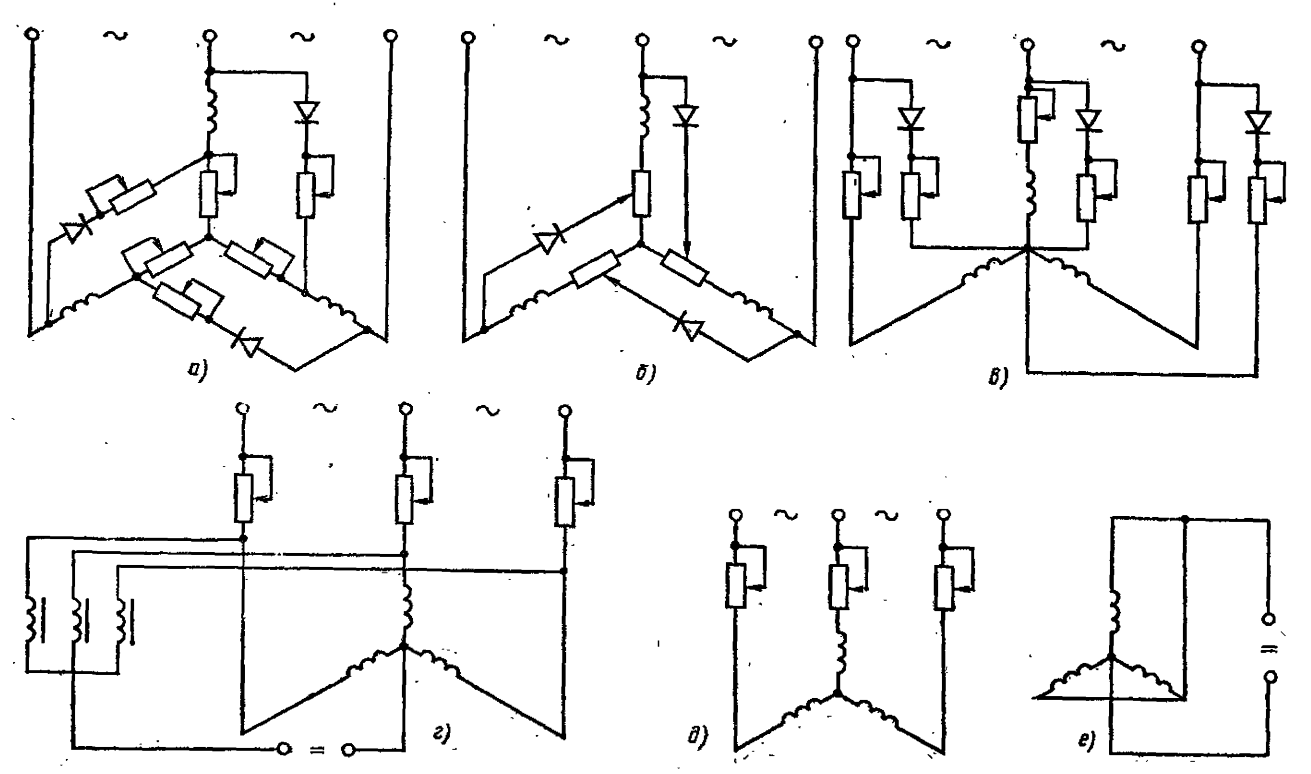


Рис. 7-44. Схемы двухтокового питания.

7-8. РАСЧЕТ СТУПЕНЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЙ В ГЛАВНЫХ ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

а) Общие вопросы

Получение механических характеристик электроприводов постоянного и переменного тока при параметрическом регулировании достигается за счет введения сопротивлений в цепи обмоток двигателей. Для крановых электроприводов практическое применение имеют схемы с использованием только активных сопротивлений.

В настоящем параграфе рассматриваются методы расчета пусковых, тормозных и регулировочных сопротивлений для получения требуемых механических характеристик электропривода. Рассматриваемые методы расчетов необходимы при проектировании новых типов электроприводов и аппаратуры управления для них. Однако часто при разработке крановых электроприводов возникают задачи, заключающиеся не в создании новых типов электрооборудования, а в выборе типового комплекта электропривода, поставляемого электропромышленностью.

Расчет ступеней сопротивлений при этом значительно упрощается и выполняется по таблицам разбивки сопротивлений, рекомендуемым заводами — изготовителями серийного электрооборудования применительно к типовым схемам контроллеров в соответствии с режимами работы электропривода. Методы выполнения указанных расчетов приводятся в § 7-9. В разделах настоящего параграфа не рассматривается также выбор резисторов по тепловому режиму. Соответствующие расчеты при этом связаны с компоновкой элементов резисторов в отдельные конструкции и также рассматриваются в § 7-9.

б) Расчет пускорегулировочных сопротивлений электроприводов с двигателями постоянного тока последовательного возбуждения

Расчет пусковых сопротивлений. Пусковые сопротивления для двигателей последовательного возбуждения наиболее просто выбираются при помощи семейства универсальных характеристик, которые приведены на рис. 7-45. По характеристикам для крановых двигателей при ПВ=25% определяют необходимую диаграмму пуска, исходя из относительных значений максимального момента и момента переключения, числа ступеней пуска, момента статической нагрузки, как это показано, например, построением на рис. 7-45. Сопротивления, соответствующие пусковым характеристикам, равны:

$$R = r_* R_н - r_{дв}, \qquad (7\text{-}151)$$

где r_* — сопротивление цепи якоря в относительных единицах.

По универсальным характеристикам, пользуясь формулой (7-151), можно также легко определить сопротивления предварительных ступеней, соответствующих небольшим значениям моментов, необходимых для выборки слабины тросов и натягов в механизмах.

Сопротивления ступеней противовключения. Полное сопротивление цепи якоря на характеристике противовключения рассчитывается по формуле

$$R_{пр} = (U_н + E_{макс})/I_{доп}, \qquad (7\text{-}152)$$

а сопротивление ступени противовключения

$$R_{с.пр} = R_{пр} - (r_{дв} + R_п), \qquad (7\text{-}153)$$

где $R_п$ — суммарное сопротивление пусковых ступеней, рассчитанное по условиям пуска.

В (7-152) $I_{доп}$ определяется из условия ограничения тока допустимым значением при максимально возможной для привода частоте вращения $n_{макс}$ в двигательном режиме, предшествующем режиму противовключения.

Значение $E_{макс}$, соответствующее принятому $I_{доп}$ и $n_{макс}$, равно:

$$E_{макс} = (E/n)_{доп}\, n_{макс}, \qquad (7\text{-}154)$$

где $(E/n)_{доп}$ определяется по универсальной кривой намагничивания на рис. 7-2 или из равенства

$$(E/n)_{доп} = (U_н - I_{доп}\, r_{дв})/n_е, \qquad (7\text{-}155)$$

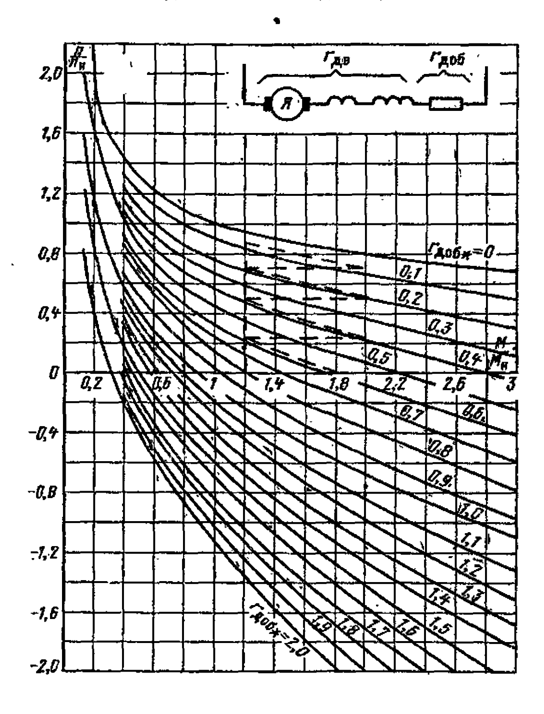


Рис. 7-45. Универсальные механические характеристики двигателей последовательного возбуждения.

по предварительно найденной из естественной характеристики скорости $n_е$, соответствующей току $I_{доп}$. Расчет сопротивлений противовключения может быть также

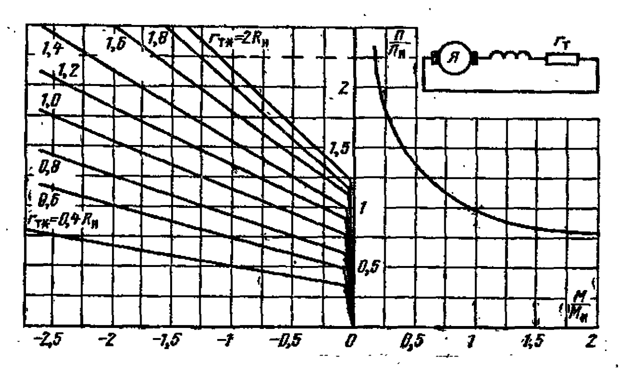


Рис. 7-46. Универсальные механические характеристики двигателей последовательного возбуждения в режиме динамического торможения с самовозбуждением (при ПВн=25%).

выполнен с помощью универсальных характеристик из рис. 7-45 путем выбора необходимой характеристики.

Расчет сопротивлений динамического торможения. Для крановых электроприводов с двигателями последовательного возбуждения применяется только динамическое торможение с самовозбуждением. Расчет сопротивлений выполняется при помощи универсальных характеристик динамического торможения с самовозбуждением, приведенных на рис. 7-46. При этом сначала, так же как для режима противовключения, определяется до-

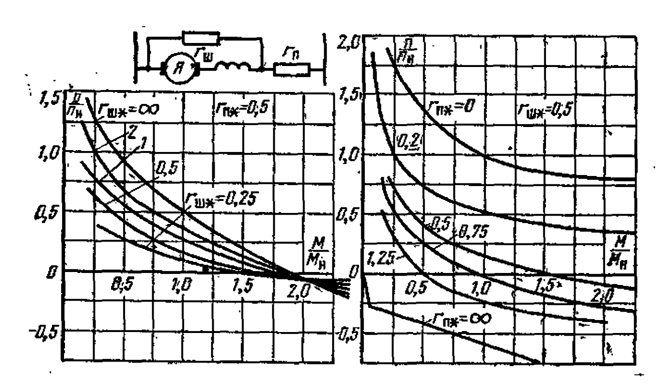


Рис. 7-47. Универсальные механические характеристики двигателей последовательного возбуждения в схеме шунтирования якоря и обмотки возбуждения.

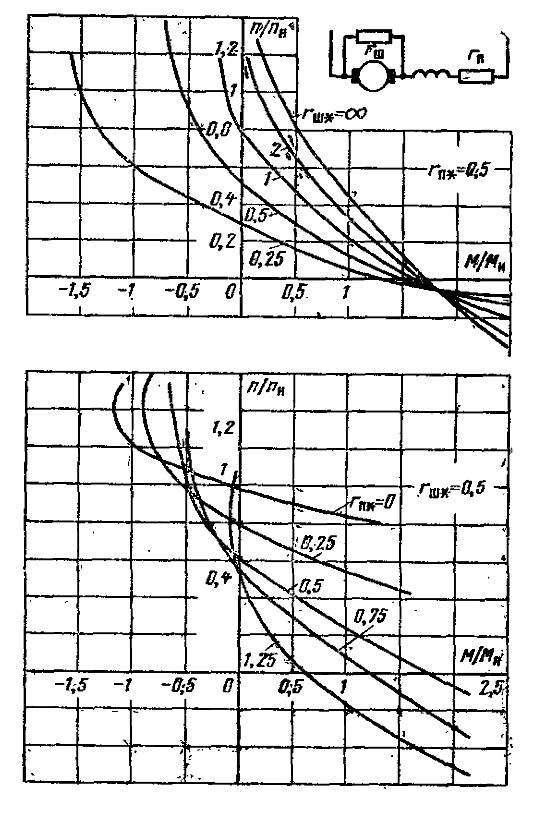


Рис. 7-48. Универсальные механические характеристики двигателей последовательного возбуждения в схеме шунтирования якоря.

пустимое значение тока $I_{доп}$ при частоте вращения $n_{макс}$ двигательного режима, предшествующего торможению. Затем для тока $I_{доп}$ по естественной характеристике определяется допустимый момент и по универсальным характеристикам рассчитывается сопротивление динамического торможения.

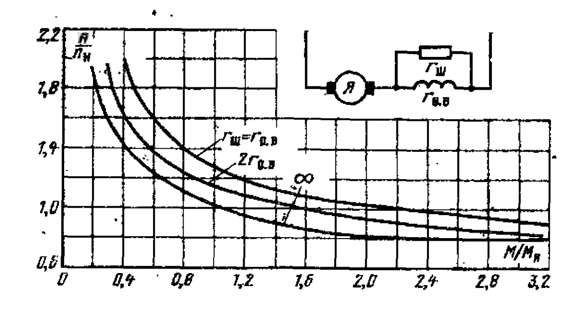


Рис. 7-49. Универсальные механические характеристики двигателей последовательного возбуждения в схеме шунтирования обмотки возбуждения.

Регулировочные сопротивления в электроприводах с двигателями последовательного возбуждения. Для регулирования скорости крановых электроприводов с двигателями последовательного возбуждения применяются комбинированные схемы соединения обмоток возбуждения якоря и резисторов к ним. Расчет сопротивлений регулировочных резисторов, так же как и пускотормозных в электроприводах с двигателями последовательного возбуждения, выполняется по универсальным механическим характеристикам. Для применяемых схем характеристики приведены на рис. 7-47 — 7-49.

в) Расчет пусковых и регулировочных сопротивлений в цепи ротора асинхронных двигателей при симметричных схемах

Расчет пусковых сопротивлений. На рис. 7-50 приведена диаграмма пускового режима асинхронного двигателя с фазным ротором. Условиями пуска являются колебания пускового момента между максимальным M_2 и минимальным M_1 значениями. Характеристика, для которой $R=r_a$, соответствует естественной или характеристике с невыключаемой ступенью сопротивления, а каждая последующая характеристика определяется сопротивлением соответствующей ступени. Учитывая пропорциональность скольжений и сопротивлений [см. (7-45)], для всех пусковых ступеней справедливо выражение

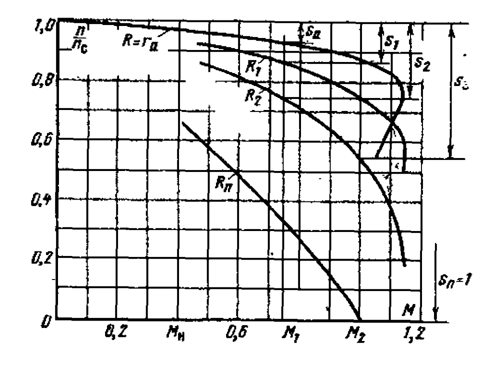


Рис. 7-50. Пусковая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором.

$$\frac{s_1}{s_a} = \frac{s_2}{s_1} = \ldots = \frac{s_n}{s_{n-1}} = \lambda, \qquad (7\text{-}156)$$

где $s_a, s_1, s_2, \ldots, s_n$ — скольжения при моментах M_1 и M_2 на пусковых характеристиках.

Из (7-156) определим значение λ:

$$\lambda = \sqrt[n+1]{1/s_a}, \qquad (7\text{-}157)$$

или

$$\lambda = \sqrt[n]{1/s_1}, \qquad (7\text{-}158)$$

где n — число пусковых ступеней, а сопротивления пусковых ступеней равны:

$$R_1 = r_a\lambda, \ \ldots, \ R_n = r_a\lambda^n. \qquad (7\text{-}159)$$

В практических расчетах при выборе стандартного электрооборудования число ступеней обычно является известным на основании условий работы механизма или конструкций контроллера. В зависимости от условий пуска выбирается одно из двух значений момента: момент переключения выбирается в том случае, когда желательно снизить ускорение; и, наоборот, при форсированном пуске, когда необходимо иметь максимальное ускорение, следует задаваться максимальным значением пускового момента. Предельным случаем форсированного пуска является $M_2=M_к$.

При заданном моменте переключений M_1 расчет ступеней сопротивлений ведется по (7-157) и (7-159), а при заданном номинальном моменте M_2 по (7-158), и (7-159). Общее сопротивление на первом пусковом положении контроллера определится соответственно в первом случае, как

$$R_n = r_a/s_a^{n/(n+1)}, \qquad (7\text{-}160)$$

во втором

$$R_n = r_a/s_1. \qquad (7\text{-}161)$$

С достаточной для практических расчетов степенью точности (из допущения прямолинейности механических характеристик) можно принять, что

$$\lambda = M_2/M_1.$$

Тогда при заданном числе ступеней n и моменте переключения M_1 λ можно найти из выражения

$$\lambda = \sqrt[n]{\frac{1}{s_{нa}M_1/M_н}}, \qquad (7\text{-}162)$$

а при форсированном пуске

$$\lambda = \sqrt[n+1]{\frac{1}{s_{нa}M_2/M_н}}, \qquad (7\text{-}163)$$

где $s_{нa}$ — скольжение при номинальном моменте на характеристике с выведенными пусковыми сопротивлениями.

Если заданы моменты M_1 и M_2, то число ступеней пусковых сопротивлений равно:

$$n = \frac{\lg[1/(s_{нa}M_1/M_н)]}{\lg(M_1/M_2)}. \qquad (7\text{-}164)$$

Невыключаемые сопротивления. Невыключаемое сопротивление предусматривается для того, чтобы уменьшить число ступеней разгона, а также в ряде электроприводов, чтобы получить характеристику двигателя более мягкую, чем естественная, с целью равномерного

распределения нагрузок в многодвигательных системах, ослабления динамических усилий в механизме или других целей. Расчет сопротивлений пусковых резисторов при наличии невыключаемого резистора выполняется по приведенным выше формулам, при этом сопротивление r_a принимается равным сумме сопротивлений ротора и невыключаемой ступени. Увеличение скольжения при новой характеристике сближает пределы колебаний пускового момента и делает пуск более плавным, так что введение невыключаемого сопротивления равноценно в этом отношении увеличению числа пусковых ступеней.

Сопротивление ступеней противовключения. Механические характеристики при противовключении рассчитываются так же, как и для двигательного режима. При этом скольжение больше единицы. Если задана точка на характеристике противовключения ($M_{пр}$, $s_{пр}$), то сопротивление, обеспечивающее эту характеристику, равно

$$R = r_a s_{пр}/s_a, \qquad (7\text{-}165)$$

где s_a — скольжение двигательного режима с выведенными сопротивлениями, соответствующее моменту $M_{пр}$. Обычно для крановых механизмов сопротивление противовключения рассчитывается из условия ограничения момента значением $2M_н$ при переходе от номинального режима или режима холостого хода на тормозной режим. В этом случае характеристике противовключения соответствует сопротивление $R=R_н$.

Сопротивление, соответствующее требуемой характеристике в режиме рекуперативного торможения. Механические характеристики рекуперативного торможения и двигательного режима при допущении их прямолинейности симметричны относительно оси ординат и линии, проходящей параллельно оси абсцисс через точку синхронной частоты вращения, поэтому сопротивление, обеспечивающее сверхсинхронную частоту вращения n при нагрузке, которой соответствует частота вращения n_a на естественной характеристике, равно:

$$R = r_a \frac{n - n_c}{n_c - n_a}. \qquad (7\text{-}166)$$

г) Расчет пусковых и регулировочных сопротивлений в цепи ротора асинхронных двигателей в несимметричных режимах

Несимметрия сопротивлений в фазах ротора. Как было сказано в § 7-1, *в*, три неравных сопротивления в фазах R_a, R_b и R_c эквивалентны трем равным симметричным сопротивлениям $R_{экв}$, которые можно вычислить по формуле

$$R_{экв} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}. \qquad (7\text{-}167)$$

Таким образом, при расчете несимметричных сопротивлений сначала производится расчет эквивалентных симметричных сопротивлений, как это было показано раньше, а затем определяются сопротивления отдельных фаз. Для обеспечения пусковой диаграммы на рис. 7-50 при соотношении пусковых моментов $M_2/M_1=\lambda$ из трех сопротивлений фаз среднее принимается равным эквивалентному, а меньшее и большее — соответственно в λ раз меньше и больше среднего. При выполнении указанных условий на каждом положении контроллера меньшее сопротивление равно симметричному предыдущему, а большее — симметричному последующему. После замыкания очередного контакта большее сопротивление уменьшается, меньшее сопротивление предыдущей ступени становится средним, а среднее — большим, при этом эквивалентное сопротивление изменяется в нужном соотношении λ.

Сопротивление режима однофазного включения. Режим однофазного торможения в крановых магнитных контроллерах используется для получения пониженных скоростей при спуске малых грузов. При этом во избежание увеличения скорости в режиме перевода привода с двигательного режима в тормозной необходимо, чтобы моменту спуска номинального груза соответствовала скорость не выше номинальной. Этим условием определяется верхний предел сопротивления цепи ротора двигателя. Нижний предел определяется ростом токов в фазах двигателя при снижении сопротивлений. Расчеты показывают, что сопротивление в роторе двигателя в режиме однофазного включения должно быть в пределах 0,65—0,55$R_н$. В серийных крановых контроллерах расчетное сопротивление в рассматриваемом режиме составляет 0,63$R_н$.

д) Расчет добавочных сопротивлений в цепи статора асинхронных короткозамкнутых двигателей

Симметричное включение сопротивлений. В электроприводах с короткозамкнутыми асинхронными двигателями сопротивление в цепи статора обычно применяется для обеспечения требуемых пусковых режимов. При этом ограничиваемыми величинами являются пусковой ток или пусковой момент. Если необходимо иметь значение пускового тока, составляющего часть α пускового тока в естественной схеме включения, то добавочное активное сопротивление определяется выражением

$$r_{доб} = \sqrt{(z_к/\alpha)^2 - x_к} - r_к, \qquad (7\text{-}168)$$

где $z_к$, $r_к$ и $x_к$ — полное, активное и индуктивное сопротивления двигателя в режиме короткого замыкания.

Расчет активного сопротивления, ограничивающего в μ раз пусковой момент двигателя, выполняется по выражению

$$r_{доб} = \sqrt{z_к^2/\mu - x_к^2} - r_к. \qquad (7\text{-}169)$$

Приведем также выражения для расчета индуктивных сопротивлений в случае применения ограничительных реакторов для снижения пускового тока и момента:

$$x_{доб} = \sqrt{(z_к/\alpha)^2 - r_к^2} - x_к; \qquad (7\text{-}170)$$

$$x_{доб} = \sqrt{z_к^2/\mu - r_к^2} - x_к. \qquad (7\text{-}171)$$

Для серийных крановых контроллеров принята типовая разбивка сопротивлений в долях номинального сопротивления статора $R_{н1}=U_c/\sqrt{3}I_{н1}$, где $I_{н1}$ — номинальный ток статора.

Однофазное включение сопротивлений. Основное назначение однофазного включения сопротивлений — ограничение пускового момента (или же ограничение пускового тока) значением момента на искусственной характеристике $M_{п.и}$.

Добавочное сопротивление, соответствующее снижению пускового момента в μ раз по сравнению со значением пускового момента $M_{п.е}$ на естественной характеристике, определяется по выражению

$$\frac{r_{доб}}{z_к} = \frac{3}{2}\left[\frac{1-2\mu}{2\mu}\cos\varphi_к + \right.$$
$$\left. + \sqrt{\left(\frac{1-2\mu}{2\mu}\right)^2 \cos^2\varphi_к + \frac{1-\mu}{\mu}}\right]. \qquad (7\text{-}172)$$

Расчетная формула для определения добавочного сопротивления, соответствующего снижению пускового тока в α раз, имеет вид:

$$\alpha = \frac{I_{п.и}}{I_{п.е}} = \sqrt{\frac{9}{4(r_{доб}/z_к)^2 + 12\,(r_{доб}/z_к)\cos\varphi_к + 9}}. \quad (7\text{-}173)$$

По (7-172) и (7-173) на рис. 7-51 построены зависимости $r_{доб}/z_к = f(\mu)$ и $\alpha = f(\mu)$ при различных $\cos\varphi_к$ в режиме к. з. Эти кривые позволяют определить пусковые сопротивления и токи в фазе статора с добавочными сопротивлениями в одной фазе.

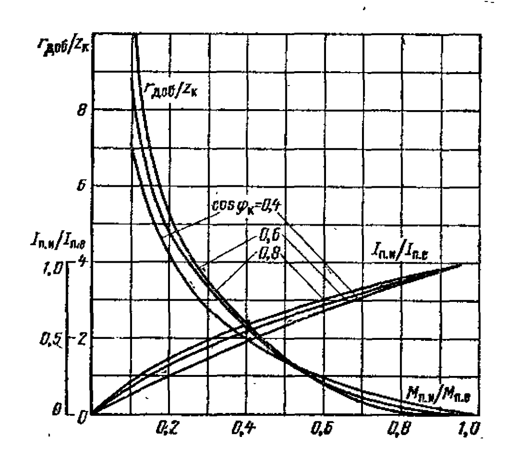


Рис. 7-51. Кривые зависимостей относительного сопротивления и пускового тока от пускового момента при включении сопротивлений в одну фазу статора короткозамкнутого двигателя.

Следует отметить, что мощность резисторов в схеме однофазного включения примерно в 1,5 раза меньше, чем в схеме симметричного трехфазного включения, что видно из примера расчета.

Пример расчета. Рассчитать внешнее пусковое активное сопротивление, обеспечивающее пусковой момент $M_п = 1,5M_н$ в схемах трехфазного и однофазного включения для привода механизма передвижения тележки крана с двигателем МКТF211-6, имеющим следующие технические данные:

$$U_с = 380\ В;\quad P_н = 7,5\ кВт;\quad ПВ = 40\%;\quad n_н = 880\ об/мин;$$

$$I_{1н} = 19,5\ А;\quad I_п = 4I_{1н};\quad M_п = 2,53M_н;\quad \cos\varphi_к = 0,803.$$

Отношение пусковых моментов на искусственной и естественной характеристиках

$$\mu = M_{п.и}/M_{п.с} = 1,5/2,53 = 0,593.$$

Сопротивления короткого замыкания для принятого двигателя равны:

$$z_к = \frac{U_с}{\sqrt{3}\,I_{п.с}} = \frac{380}{1,73\cdot19,5\cdot4} = 2,83\ Ом;$$

$$x_к = z_к \sin\varphi_к = 2,83\cdot0,598 = 1,69\ Ом;$$

$$r_к = z_к \cos\varphi_к = 2,83\cdot0,802 = 2,27\ Ом.$$

Тогда для схемы трехфазного включения добавочное сопротивление, пусковой ток и условная пусковая мощность резисторов составят:

$$z_{доб} = \sqrt{\frac{2,83^2}{0,593} - 1,69^2} - 2,27 = 0,99\ Ом;$$

$$I_{п.и} = \frac{380}{\sqrt{3}\,\sqrt{(0,99+2,27)^2 + 1,69^2}} = 59,9\ А;$$

$$P_у = 3I^2_{п.и}\,r_{доб} = 3\cdot59,9^2\cdot0,99 = 10\,659\ Вт.$$

Для схемы включения сопротивления в одну фазу по кривым рис. 7-51 при $\mu = 0,593$ и $\cos\varphi_к = 0,802$ находим $r_{доб}/z_к = 0,8$; $I_{п.и}/I_{п.с} = 0,73$. Отсюда искомое пусковое сопротивление и ток через него:

$$r_{доб} = 0,8z_к = 0,8\,\frac{380}{\sqrt{3}\,I_{п.е}} = 0,8\,\frac{380}{\sqrt{3}\,19,5\cdot4} = 2,25\ Ом;$$

$$I_{п.и} = 0,73I_{п.е} = 0,73\cdot4\cdot19,5 = 56,9\ А.$$

Условная пусковая мощность сопротивления

$$P_у = I^2_{п.и}\,r_у = 56,9^2\cdot2,25 = 7294,9\ Вт.$$

е) Расчет сопротивления динамического торможения асинхронных двигателей с фазным ротором

Сопротивления для систем динамического торможения с независимым возбуждением. Расчет добавочных сопротивлений в цепи ротора двигателя для динамического торможения проще всего производить путем выбора рациональной механической характеристики из семейства универсальных характеристик и определения по ней наряду с током возбуждения и добавочного сопротивления в цепи ротора.

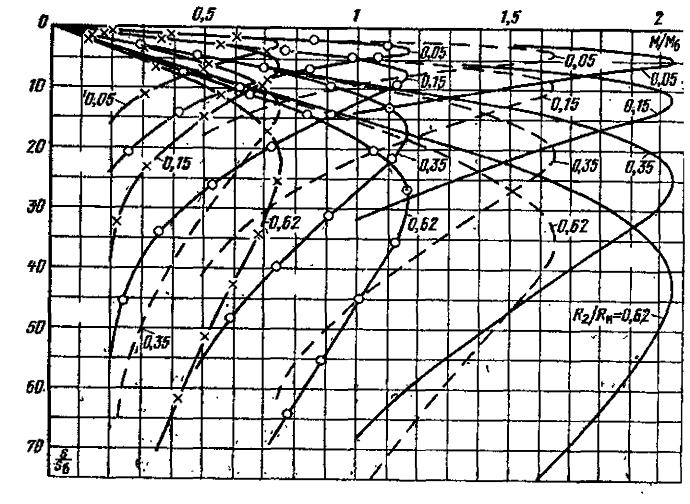


Рис. 7-52. Универсальные механические характеристики крановых двигателей с фазным ротором в режиме динамического торможения с отдельным источником питания.

——— при $I_п/I_0 = 3$; — — — — при $I_п/I_0 = 2,5$; —О—О— — при $I_п/I_0 = 2$; —×—×— — при $I_п/I_0 = 1,5$.

На рис. 7-52 приведены универсальные механические характеристики крановых двигателей, рассчитанные по методике § 7-5.

Изменение формы механических характеристик оказывает существенное влияние на время и путь торможения. Для количественной оценки этого на рис. 7-53 приведены графики указанных параметров, рассчитанные по характеристикам на рис. 7-52 в функции сопротивления ступени динамического торможения и относительного момента статической нагрузки. Согласно рис. 7-53 наиболее благоприятными по указанным параметрам являются характеристики с $R_{доб} = (0,2 \div 0,4)R_н \times (10M_* - 1)$, причем меньший предел соответствует

меньшему времени торможения, а больший — меньшему тормозному пути. Поскольку время и путь торможения зависят как от формы механической характеристики, так и от момента статической нагрузки, то при построении схем электропривода механизмов подъема необходимо иметь минимум хотя бы две характеристики торможения: для торможения под нагрузкой не менее 0,7 номинальной (что соответствует $R_{доб} = (1,8 \div 1,6) R_н$) и другую для холостого хода (при $R_{доб} = (0,3—0,5) R_н$).

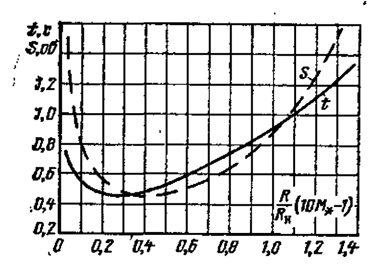


Рис. 7-53. Зависимость времени и пути торможения от сопротивления (при динамическом торможении) и момента статической нагрузки.

Для механизмов передвижения, у которых момент статической нагрузки значительно меньше номинального, можно ограничиться одной ступенью с сопротивлением $0,4 R_н$, если не стоит вопрос об обеспечении плавного

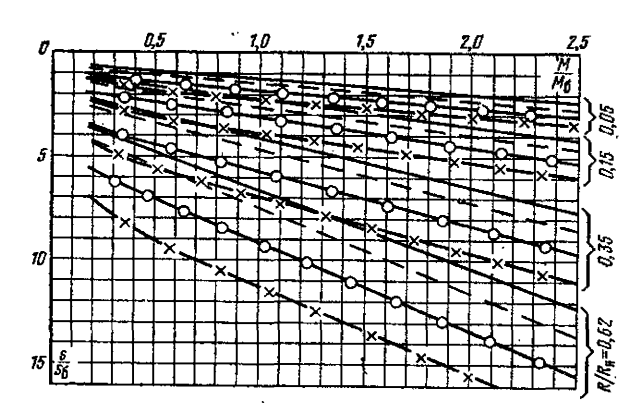


Рис. 7-54. Универсальные механические характеристики крановых двигателей с фазным ротором в режиме динамического торможения с самовозбуждением.

——— при $k_т=1,8$; — — — при $k_т=1,6$; —○—○—○— $K_т=1,4$; —×—×— $k_т=1,3$.

торможения. Однако в большинстве случаев для указанных механизмов наиболее важными являются именно вопросы плавного торможения, поэтому и здесь желательным является обеспечение двухступенчатого торможения, так же как для подъемных механизмов.

Расчет сопротивлений для получения нужных скоростей при регулировании выполняется непосредственно по универсальным характеристикам.

Сопротивления для систем динамического торможения с самовозбуждением. Механические характеристики асинхронного двигателя в рассматриваемом режиме зависят как от сопротивлений в роторе, так и от степени возбуждаемости машины. Однако в отличие от обычного динамического торможения характеристики привода в режиме торможения с самовозбуждением являются весьма жесткими, поэтому для ограничения динамических условий в приводе и механизме число ступеней сопротивлений при самовозбуждении должно быть не менее трех—четырех.

Расчет ступеней сопротивлений выполняется по универсальным механическим характеристикам крановых асинхронных электродвигателей, приведенным на рис. 7-54. Характеристики построены по методике, приведенной в § 7-5, в параметрической зависимости от коэффициента самовозбуждаемости машины k_c. По универсальным характеристикам выбирается наиболее благоприятная диаграмма торможения с необходимым числом ступеней при заданном моменте статической нагрузки.

7-9. РЕЗИСТОРЫ ДЛЯ ГЛАВНЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

а) Общие сведения

Активные добавочные резисторы в электрических цепях, применяемые для формирования необходимых пускотормозных режимов и регулирования, компонуются в отдельные самостоятельные конструкции. Если резисторы состоят из нескольких самостоятельных конструктивных частей, объединенных в общее устройство, то каждая из этих частей называется резисторным элементом, а весь комплект, включающий резисторные элементы и представляющий собой законченное устройство — резисторным ящиком.

Резисторы (отдельные элементы и комплектные устройства) характеризуются следующими параметрами:

1) активным сопротивлением, Ом:

$$R = \rho l/s, \tag{7-174}$$

где ρ — удельное сопротивление активного материала резистора, Ом·мм²/м; l — общая длина проводника из активного материала, м; s — площадь сечения проводника, мм²;

2) максимальным превышением температуры $\tau_у$ активного материала в установившемся режиме над температурой окружающей среды при прохождении по резистору тока

$$\tau_у = Q/A = I^2 R/A, \tag{7-175}$$

где Q — количество теплоты, выделяющейся в активном материале резистора за 1 с; A — теплоотдача, т. е. количество теплоты, отдаваемое телом с его поверхности в 1 с при разнице температур между телом и окружающей средой 1° С; I — ток, проходящий по проводнику, А;

3) мощностью резистора в установившемся режиме, Вт, т. е. количеством теплоты, отдаваемым за 1 с при предельно допустимом превышении температуры резистора $\tau_{макс}$:

$$P = I_у^2 R, \tag{7-176}$$

где $I_у$ — ток, протекающий по резистору, А, и определяющий количество теплоты за 1 с, равное Q, Дж.

В реальных условиях резисторы включаются не только продолжительно, но также кратковременно и повторно-кратковременно. В условиях равномерного во времени нагрева превышение температуры резисторов изменяется по следующему закону:

$$\tau = \tau_у (1 - e^{-t/T}) + \tau_0 e^{-t/T}, \tag{7-177}$$

где t — время нагрева, с; τ_0 — превышение температуры в начале нагрева; T — постоянная времени нагрева, с.

Постоянная времени нагрева равна:

$$T = C/A, \tag{7-178}$$

где C — теплоемкость тела, т. е. количество теплоты, необходимое для изменения температуры тела на 1° С.

Постоянная времени нагрева численно равна времени, в течение которого тело нагревается до температуры $\tau_у$ при отсутствии отдачи тепла в окружающую среду, т. е. при $A=0$.

При нагреве от начального значения $\tau_0=0$ до установившегося значения $\tau_у$ постоянная времени нагрева T соответствует отрезку времени, в течение которого превышение температуры составит 0,63 $\tau_у$. Необходимо отметить, что у реальных резисторов постоянная времени T, определенная условием нагрева до установившегося состояния при кратковременных нагревах в течение 10—60 с будет несколько меньше в связи с тем, что не все элементы резистора будут нагреваться равномерно.

Введем обозначения:

$I_{кр}$ — ток кратковременного режима, вызывающий за время t превышение температуры, равное $\tau_у$; I_ε — ток повторно-кратковременного режима, вызывающий при относительной продолжительности включения ε и времени цикла $t=60$ с превышение температуры $\tau_у$; ε — относительная продолжительность включения, равная отношению времени протекания тока $I_у$ по резистору в течение цикла ко времени цикла:

Значения токов $I_{кр}$ и I_ε можно определить из выражений:

$$I_{кр} = I_у \sqrt{\frac{1}{1-e^{-t/T}}}; \tag{7-179}$$

$$I_\varepsilon = I_у \sqrt{\frac{1-e^{-60/T}}{1-e^{-60\varepsilon/T}}}. \tag{7-180}$$

Если постоянная времени T значительно больше времени включения резистора при повторно-кратковременном режиме, то формула (7-180) упрощается и принимает вид:

$$I_\varepsilon = I_у/\sqrt{\varepsilon}. \tag{7-181}$$

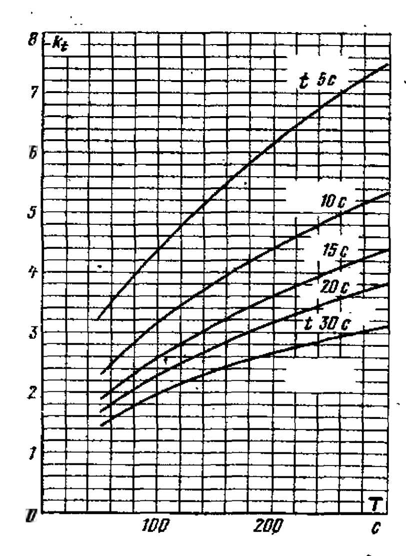


Рис. 7-55. Коэффициенты перегрузки резисторов при кратковременной работе.

Для резисторов практикой и действующими нормативами установлены следующие стандартизированные продолжительности включения:

1) кратковременный режим — 10, 20, 30 с, 1, 3, 5 мин;

2) повторно-кратковременный режим при длительности цикла 60 с, ПВ=6,25; 8,8; 12,5; 17,7; 25; 35; 50 и 70%.

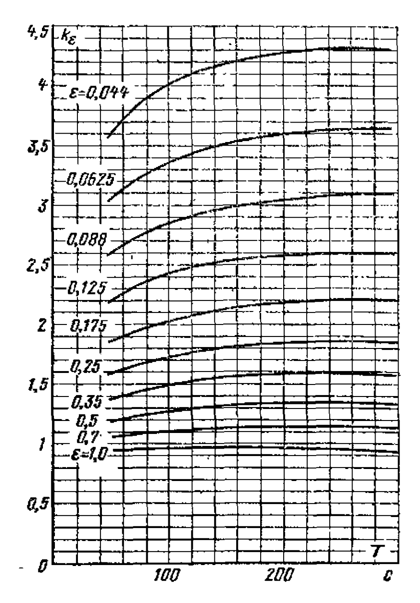


Рис. 7-56. Коэффициенты перегрузки резисторов при повторно-кратковременной работе (время работы равно 1 мин).

Значения коэффициентов перегрузки по току для стандартизированных кратковременного $k_t=I_{кр}/I_у$ и повторно-кратковременного $k_\varepsilon=I_\varepsilon/I_у$ режимов при различных постоянных времени приведены на рис. 7-55 и 7-56.

б) Конструкция и технические данные элементов и ящиков резисторов

Элементы резисторов имеют разнообразные конструктивные исполнения. К настоящему времени в крановых электроприводах применяются элементы резисторов трех конструктивных исполнений:

1) резисторы с рассеиваемой мощностью 25—150 Вт типа ПЭВ, соответствующие ГОСТ 6513-75, представляют собой фарфоровые цилиндры, на которые навита нихромовая проволока, после чего цилиндр покрыт нагревостойкой стекловидной эмалью, они могут иметь сопротивления от 1 до 30 000 Ом;

2) резисторы с рассеиваемой мощностью 250—400 Вт в виде плоских элементов; на металлическом держателе надеты фарфоровые изоляторы — «наездники», на которые навита константановая, фехралевая или нихромовая проволока диаметром от 0,5 до 1,6 мм; они могут иметь сопротивление от 96 до 0,7 Ом;

3) резисторы с рассеиваемой мощностью 850—1000 Вт из фехралевой ленты размерами от 0,8×6 мм до 1,6×15 мм, намотанной на ребро. Лента в виде спирали надета на фарфоровые изоляторы — «наездники», опирающиеся на металлический держатель коробчатого сечения. Общий вид ленточного резистора показан на

рис. 7-57. Выводы от активного материала трубчатых резисторов припаяны тугоплавким припоем. Выводы от проволочных резисторов с открытой навивкой выполнены в виде петель из активного материала. Выводы к ленточным резисторам приварены латунным припоем к ленте.

Элементы резисторов не рассчитаны для непосредственного крепления к заземленным металлическим частям и поэтому при их установке в комплектные устройства (ящики) необходимо применить вторую ступень изоляции. Резисторы, собранные в комплектные устройства — ящики, рассчитаны на эксплуатацию при потенциале по отношению к заземленным частям до 800 В. Проволочные резисторы могут использоваться при частоте переменного тока или импульсов постоянного тока до 1000 Гц, а ленточные резисторы — при частоте, не превышающей 100 Гц.

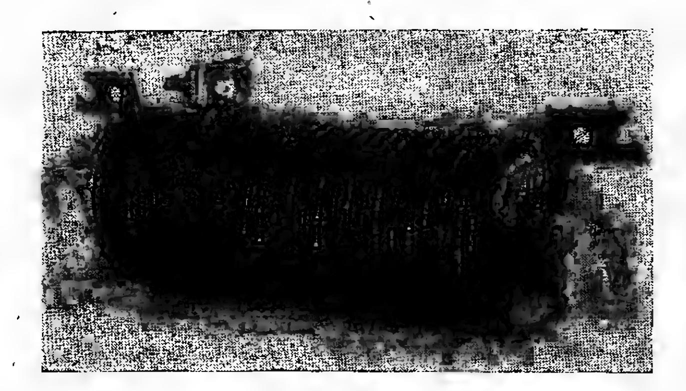


Рис. 7-57. Ленточный резисторный элемент.

Таблица 7-3

Физико-технические данные активных материалов резисторов

Наименование	Химический состав, %	Удельное сопротивление, Ом·мм²/м	Температурный коэффициент, °C⁻¹	Максимально допустимая температура, °C
Фехраль	Fe (70—80); Cr (10—15); Al (10—15)	1,18	0,00008	850
Нихром А	Ni (87); Cr (11); Mn (2)	0,87	0,00017	930
Нихром В	Ni (61); Cr (15); Fe (20); Mn (4)	1,13	0,00017	1000
Константан	Cu (60); Ni (40)	0,48	—0,00003	500
Никелин	Cu (62); Ni (18); Zn (20)	0,42	0,0003	200
Реотан	Cu (53,4); Ni (25,3); Zn (16,8); Fe (4,5)	0,47	0,00041	200

Данные активных материалов резисторов приведены в табл. 7-3. Хотя активные материалы допускают весьма высокие рабочие температуры, использование этих температур в конкретных конструкциях нежелательно в связи с тем, что может привести к растрескиванию соприкасающихся с ними фарфоровых деталей, местным недопустимым перегревам стыков в контактных соединениях и повышению пожароопасности конструкций, расположенных рядом.

Таблица 7-4

Нормы превышения температуры частей резисторов

Части элементов резисторов и их ограждений	Допустимое превышение температуры, °С, в режимах: прерывисто-продолжительном (ПВ=100%)	кратковременном, повторно-кратковременном	кратковременном, аварийном
Активный материал:			
фехраль	350	400	600
нихром	350	400	600
константан	250	300	—
Фарфоровые изоляторы [1]	300	320	320
Выводные зажимы на элементах	200	250	400
Выводные зажимы внешнего монтажа	60	70	80
Кожух	120	130	—
Ограждения, доступные для прикосновения	50	50	50
Воздух, выходящий за ограждения	100	100	100

[1] Указаны средние значения.

Допустимые нормы превышений температуры отдельных элементов резисторов даны в табл. 7-4.

Технические данные элементов резисторов проволочного типа из константановой проволоки приведены в табл. 7-5.

Технические данные элементов резисторов ленточного типа указаны в табл. 7-6.

Элементы компонуются в ящики резисторов. Каждый стандартный ящик резисторов вмещает до пяти ленточных элементов либо до одиннадцати проволочных элементов. Ящики с ленточными резисторами (рис. 7-58) имеют наименование НФ 1А, ящики с проволочными резисторами имеют наименование НФ 11А (при использовании фехралевой проволоки) или НК 1А (при использовании константановой проволоки).

Элементы в ящике монтируются на индивидуальных фарфоровых изоляторах. На таких же изоляторах монтируются выводные зажимы. Конструктивно ящик представляет собой две металлические боковины, соединенные между собой тремя стальными рейками П-образного профиля. На двух рейках крепятся элементы, третья рейка несет на себе выводные зажимы.

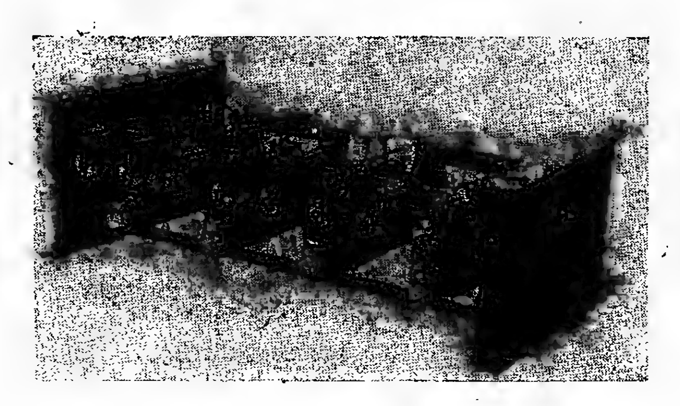


Рис. 7-58. Ящики резисторов ленточного типа.

Таблица 7-5

Технические данные проволочных константановых элементов резисторов

№ элемента	Длительный ток, А	Постоянная времени, с	Ток повторно-кратковременного режима, А, при ПВ			Ток кратковременного режима, А			Сопротивление, Ом	Сопротивление ступеней элемента, Ом			
			12,5%	25%	35%	0,5 мин	1,0 мин	3 мин		*А*	*Б*	*В*	*Г*
1	1,7	70	4,0	3,0	2,5	2,9	2,2	1,8	96	—	—	—	—
2	2,0	80	4,9	3,5	3,3	3,7	2,8	2,1	68	—	—	—	—
3	2,3	—	—	—	—	—	—	—	48	—	—	—	—
4	2,6	120	6,5	4,7	4,0	5,6	4,2	3,0	37	—	—	—	—
5	3,0	110	7,5	5,5	4,7	6,0	4,5	3,2	27,8	6,9	7,0	13,9	—
6	3,8	100	9,8	7,0	6,0	7,4	5,6	4,2	18	4,5	4,5	9,0	—
7	4,6	200	12	8,6	7,4	11,1	8,5	5,8	12	1,5	1,5	3,0	6,0
8	5,7	100	14,6	10	9,0	11,1	8,4	6,3	8	1,0	1,0	2,0	4,0
9	6,6	180	17,0	12	10	16,2	12	8,2	5,8	0,7	0,7	1,5	2,9
10	7,2	200	18,5	13	11	18,3	13,2	9,0	5,0	0,62	0,62	1,25	2,5
11	7,6	210	20,0	14	12	20,5	14,5	9,8	4,4	0,55	0,55	1,1	2,2
12	8,6	210	23,0	16	14	25	18,2	11,8	3,5	0,43	0,43	0,9	1,74
13	9,6	280	26	19	16	30	22	14	2,8	0,34	0,34	0,72	1,4
14	12,0	150	31	22	19	26,5	17,8	13,2	1,95	0,49	0,49	0,97	—
15	13,0	150	34	24	21	32	23,5	16	1,45	0,36	0,36	0,73	—
16	14,0	150	38	26	22,5	36	26	18	1,26	0,32	0,32	0,62	—
17	15,0	150	40	28,5	24	40,5	29	19,3	1,1	0,28	0,28	0,54	—
18	17,0	150	45,7	32	27,5	49	36	23,3	0,9	0,23	0,23	0,44	—
19	19,0	280	37,5	36	31	60	43,5	28	0,7	0,18	0,18	0,34	—

Таблица 7-6

Технические данные ленточных элементов резисторов

№ элемента	Постоянная времени, с	Длительный ток, А	Ток повторно-кратковременного режима, А, при ПВ			Ток кратковременного режима, А			Сопротивление, Ом	Сопротивление ступеней элемента с двумя промежуточными выводами, Ом			Сопротивление ступеней с одним промежуточным выводом, Ом	
			12,5%	25%	35%	0,5 мин	1 мин	3 мин		*А*	*Б*	*В*	*А*	*Б*
1	265	107	305	215	181	335	245	156	0,078	0,0195 0,0335	0,0215 0,0215	0,037 0,023	0,055 0,041	0,023 0,037
2	365	91	255	181	152	307	223	140	0,1	0,0268 0,0482	0,0214 0,0214	0,0518 0,0305	0,0695 0,0412	0,0305 0,0518
3	300	76	215	152	128	255	185	116	0,15	0,04 0,072	0,032 0,032	0,078 0,046	0,104 0,072	0,046 0,078
4	330	64	181	128	107	228	165	102	0,23	0,062 0,112	0,052 0,052	0,118 0,065	0,165 0,112	0,065 0,118
5	270	54	152	107	91	172	125	98	0,31	0,081 0,152	0,07 0,07	0,158 0,088	0,222 0,152	0,088 0,158
6	350	46	128	91	76	165	120	74	0,41	0,1 0,202	0,102 0,102	0,208 0,106	0,304 0,202	0,106 0,208
7	240	39	107	76	64	118	86	55	0,6	0,145 0,295	0,15 0,15	0,305 0,155	0,455 0,295	0,155 0,305
8	220	33	91	64	54	96	70	45	0,82	0,2 0,404	0,304 0,304	0,416 0,212	0,608 0,404	0,212 0,416
9	140	29	76	54	46	67	50	34	1,09	0,285 0,533	0,248 0,248	0,557 0,31	0,78 0,533	0,31 0,557
10	170	24	64	46	39	61	45	30	1,38	0,333 0,678	0,345 0,345	0,702 0,358	1,02 0,678	0,358 0,702
11	500	76	215	152	128	315	226	138	0,154	0,04 0,075	0,035 0,035	0,079 0,044	0,11 0,075	0,044 0,079

Ящики типа НФ 1А на токи 51—228 А имеют от четырех до шести выводных зажимов. Те же ящики на токи 36—41 А имеют от шести до восьми зажимов. Проволочные ящики сопротивлений НФ 11А или НК 1А имеют до одиннадцати выводных зажимов. Для наиболее распространенных электроприводов выпускаются

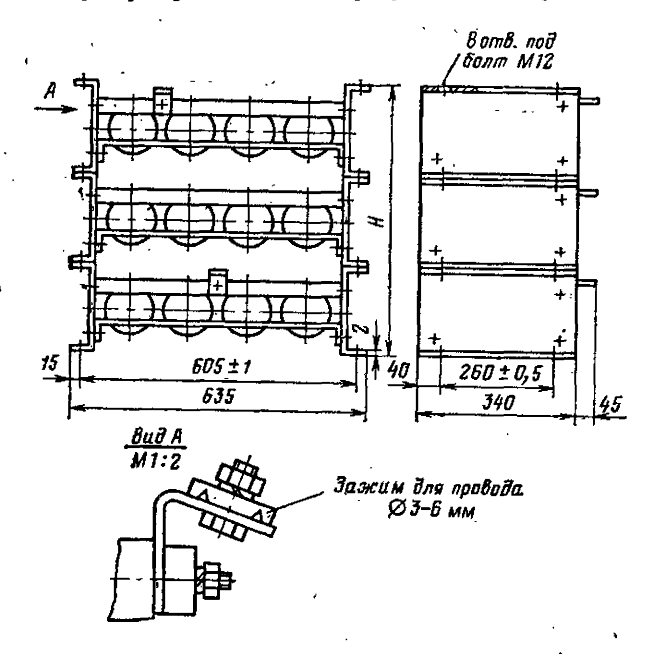


Рис. 7-59. Массогабаритные размеры ящиков сопротивлений.

Тип ящика	Размер H, мм	Масса, кг	Тип ящика	Размер, H мм	Масса, кг
НФ 1А	200	25	НК 1А; НФ 11А	200	22
НФ 2А	400	50	НК 2А; НФ 22А	400	44
НФ 3А	600	75	НК 3А	600	66

комплекты ящиков, соединенные между собой, и имеющие общую схему соединения. Два ящика, соединенных между собой, обозначаются НФ 2А или НФ 22А (НК 2А); три ящика обозначаются как НФ 3А или НФ 33А (НК 3А).

Габаритные размеры ящиков приведены на рис.7-59. Некоторые исполнения ящиков резисторов, используемые на открытом воздухе, изготовляются в защитных кожухах со степенью защиты от внешних воздействий IP 42. Такие ящики имеют обозначение БФ 1А, БФ 2А, БФ 3А, БФ 4А. Если в ящиках открытого исполнения полностью используется мощность максимального числа устанавливаемых там элементов, то в ящиках с защитными кожухами рассеиваемая мощность снижается от 15 до 40% в зависимости от размеров ящиков (большее снижение мощности имеет место для большего размера ящика).

При установке ящиков резисторов необходимо обеспечить хороший естественный теплоотвод. Для этого между полом и первым ящиком должно быть расстояние не менее 100 мм. При установке одного ящика над другим через каждые три этажа следует также оставлять свободный промежуток 50—70 мм.

Технические требования к резисторам и ящикам резисторов приведены в ГОСТ 4870-69, который распространяется на все типы ящиков резисторов главного тока. Основным отличием резисторов кранового исполнения является их использование при высоких значениях часто повторяющихся перегрузок по току. Учитывая эти особенности, отдельные токоведущие детали, например выводы, внутренний соединительный монтаж, выполняют из меди более массивными, чтобы предотвратить местные перегревы этих узлов при перегрузках.

Все конструктивные исполнения ящиков резисторов разбиваются на две группы: нормализованные ящики универсального назначения и специальные ящики, заранее рассчитанные на использование в определенной схеме электропривода для определенных мощностей электродвигателей с учетом их выходных параметров.

В табл. 7-7 и 7-8 приведены технические характеристики нормализованных ящиков резисторов типов НФ 1А и НФ 11А.

Используя нормализованные ящики резисторов, можно получить требуемые параметры к разным схемам электроприводов. Это позволяет проектировщику электропривода использовать готовые стандартизированные комплектующие изделия.

Выводные зажимы нормализованных ящиков резисторов не маркированы, поскольку все ступени ящиков имеют приблизительно равные сопротивления. Если необходимо в пределах одного ящика произвести электрическое разделение ступеней, то достаточно снять соответствующую перемычку между этими ступенями. Необходимые значения ступеней сопротивлений резисторов комплектуются путем последовательного, параллельного и последовательно-параллельного соединения ступеней стандартных ящиков резисторов.

в) Расчет и выбор резисторов для типовых крановых электроприводов

При расчете и выборе резисторов в наиболее широко применяемых системах параметрического контактного регулирования одновременно решаются две задачи:

1) достижение требуемого уровня регулирования и ускорения электропривода, т. е. реализация необходимых механических характеристик;

2) обеспечение соответствия теплового режима резистора режиму работы двигателя и электропривода крана в целом.

Для выполнения первого условия определяются значения ступеней сопротивлений, соответствующие получению необходимых абсолютных значений пусковых моментов электродвигателя.

Для выполнения второго условия необходимо определить соответствующую рассеиваемую мощность резистора в целом (выбрать режим продолжительности включения при этой рассеиваемой мощности и установить необходимую нагрузку отдельных ступеней резисторов).

Типовые механические характеристики крановых электроприводов переменного и постоянного тока, как правило, рассчитываются и строятся в относительных единицах, что позволяет при сохранении необходимых параметров регулирования использовать эти характеристики для различных случаев нагрузки. Механическим характеристикам, построенным в относительных единицах, соответствуют и разбивки отдельных ступеней резистора также в относительных единицах.

Таким образом, для получения необходимых механических характеристик достаточно установить соответствующие базисные значения, принятые за 100%, по которым затем находятся абсолютные значения сопротивлений ступеней и ведется дальнейший расчет.

Таблица 7-7

Нормализованные ящики резисторов типа НФ 1А

Каталожный номер ящика	Длительный ток, А	Постоянная времени, с	Общее сопротивление, Ом	Сопротивление ступеней, Ом					Число выводов*
				1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	
2ТД.754.054-01	228	265	0,096	0,0215	0,017	0,017	0,0215	0,019	6/4
2ТД.754.054-02	204	365	0,118	0,026	0,0215	0,0215	0,026	0,0285	6/4
2ТД.754.054-03	165	330	0,19	0,042	0,0345	0,0345	0,042	0,038	6/4
2ТД.754.054-04	127	330	0,318	0,0635	0,0635	0,0635	0,0635	0,0635	6/4
2ТД.754.054-05	114	270	0,395	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	6/4
2ТД.754.054-06	102	365	0,48	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	6/4
2ТД.754.054-07	82	300	0,78	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	6/4
2ТД.754.054-08	64	330	1,28	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	6/4
2ТД.754.054-09	57	270	1,6	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	6/4
2ТД.754.054-10	51	350	2,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	6/4
2ТД.754.054-11**	41	240	3,1	0,455	0,477	0,477	0,455	0,455	8/6
2ТД.754.054-12***	36	220	4,0	0,6	0,596	0,596	0,6	0,6	8/6

* В числителе указано общее число выводов; в знаменателе — число выводов, снабженных медными башмаками.
** Сопротивление ступеней 6—7—0,477 Ом; 7—8—0,31 Ом.
*** Сопротивление ступеней 6—7—0,596 Ом; 7—8—0,4 Ом.

Таблица 7-8

Нормализованные ящики резисторов типа НФ 11А

Каталожный номер ящика	Длительный ток, А	Общее сопротивление, Ом	Число ступеней	Сопротивление ступени, Ом	Число выводных зажимов
2ТД.750.020-35	26,8	7,15	11	0,65	12
2ТД.750.020-36	21,8	11,0	11	1,0	12
2ТД.750.020-37	17,7	16,0	11	1,4—1,5	12
2ТД.750.020-38	15,0	23,1	11	2,1	12
2ТД.750.020-39	13,4	28,6	11	2,6	12

Для механизмов подъема за базисный момент $M_{100\%}$, Н·м, принимается момент статической нагрузки при подъеме номинального груза.

Для механизмов горизонтального передвижения за базисный момент $M_{100\%}$, Н·м, принимается момент, необходимый для обеспечения требуемого ускорения.

При заданном среднем ускорении a, м/с², время разгона, с, $t=v_н/a$. При этом время разгона не должно превышать 5,5 с, т. е. при малых заданных ускорениях сопротивления необходимо рассчитывать исходя из предельных ускорений, возможных по условиям пуска; в противном случае двигатель окажется в неоптимальных условиях по режимам пуска

$$M_{100\%} = GD^2_{общ}\, n_н/68{,}8t + M_c/1{,}8, \qquad (7\text{-}182)$$

где $GD^2_{общ}$ — общий маховой момент электропривода, приведенный к валу электродвигателя, кг·м²; M_c — момент статической нагрузки, Н·м; $n_н$ — частота вращения электродвигателя, соответствующая скорости $v_н$, об/мин.

Полагая, что в интервале моментов на валу электродвигателей постоянного и переменного тока от 0,5 до 1,3 номинального момент приблизительно пропорционален току ротора или якоря, можно определить ток резисторов, А, соответствующий базисному режиму, принятому за 100%:

$$I_{100\%} = M_{100\%} \frac{I_н n_н}{9550 P_н}. \qquad (7\text{-}183)$$

Определение номинальных сопротивлений для асинхронных двигателей с фазным ротором и номинальных сопротивлений в цепи двигателей постоянного тока даны выше.

Сопротивления ступеней, Ом, определяются из выражения

$$R_{ступ} = R_н R_{\%}/100,$$

где $R_{\%}$ — сопротивление ступени, %.

Для типовых схем крановых электроприводов разбивка ступеней сопротивления в процентах номинального приведена в табл. 7-9, 7-10.

Среднее значение нагрузки резисторов крановых электроприводов не может быть однозначно установлено в связи с тем, что режим работы как электропривода, так и резисторов весьма неопределенный, завися-

Таблица 7-9

Сопротивления и токи ступеней для электроприводов с кулачковыми и магнитными контроллерами переменного тока

Ступени	Кулачковый контроллер ККТ 68А	Магнитные контроллеры			
		Ток ротора <160 А		Ток ротора >160 А	
		ТА, К	ТСА, КС	ТА, К	ТСА, КС
Р1—Р4	9/54	5/83	5/83	8/50	14/59
Р4—Р7	31/35	10/59	10/59	—	—
Р7—Р71	60/35	—	—	—	—
Р71—Р10	40/35	20/50	20/59		
Р1—Р11	17/29	—	—	—	—
Р11—Р14	76/17,5	—	—	—	—
Р10—Р13	—	40/42	27/50	—	—
Р13—Р16	—	120/21	76/42	146/35	86/42
Р16—Р19	—	—	72/30	—	72/30
Р4—Р10	—	—	—	42/42	39/50
Р1—Р7	—	—	—	24/59	23/42
Р7—Р13	—	—	—	100/30	92/25

Примечания: 1. Сопротивления (числитель) и токи (знаменатель) ступеней указаны в процентах номинальных значений.

2. Для магнитных контроллеров сопротивления даны в расчете на одну фазу.

3. При управлении кулачковым контроллером ККТ61А сопротивления и токи ступеней: *Р1—Р5*—26/59; *Р5—Р61*—170/19; *Р61—Р6*—75/19; *Р2—Р4*—9/59; *Р4—Р62*—87/35; *Р62—Р6*—35/35; *Р3—Р6*—61/50.

Таблица 7-10

Сопротивления и токи ступеней для электроприводов с кулачковыми и магнитными контроллерами постоянного тока

Ступени	Кулачковые контроллеры		Магнитные контроллеры	
	КВ 101	КВ 102	П63, П160, П250, П400, П600	ПС160, ПС250, ПС400, ПС600
Р01—Р1	10/42	10/30	—	—
Р1—Р2	18/42	30/30	100/30	100/50
Р2—Р3	22/42	60/37	26/42	42/50
Р3—Р4	20/50	40/37	22/50	25/61
Р4—Р5	16/50	27/46	15/59	30/44
Р5—Р6	14/59	18/46	—	—
Р6—Р7	—	—	50/30	—
Р6—Р06	—	10/46	—	—
Р7—Р8	40/135	30/126	—	—
Р4—Р6	—	—	—	60/39
Р5—Р7	—	—	—	6/41
Р8—Р9	—	—	—	22/33
Р10—Р11	—	—	—	45/28

Примечание. Сопротивления (числитель) и токи (знаменатель) ступеней указаны в процентах номинальных значений.

щий от многих случайных факторов. Поэтому в практике принято устанавливать нагрузки резисторов с учетом основных классификационных режимов работы кранов и коэффициентов, характеризующих средние условия регулирования, потери в пускотормозных режимах и предполагаемое максимальное число пусков. На базе общей теории определения нагрузок и выбора крановых электродвигателей (см. § 8-2, 8-3) средняя мощность рассеяния кранового резистора в схемах постоянного и переменного тока с торможением методом противовключения, а также в тиристорных системах с регулированием напряжения определяются по выражению

$$P_р = \frac{aP_{ст}}{k_т \eta_{экв} \eta_{дв}} \left[(\eta_{дв} - \eta_{экв}) + \frac{(1-\eta_{дв})(1+\varepsilon_0)(\eta_{экв.б} - \eta_{экв})}{\eta_{экв.б}\, k_a} \right]; \quad (7\text{-}184)$$

средняя мощность рассеяния кранового резистора в схемах переменного тока с динамическим торможением

$$P_р = \frac{aP_{ст}}{k_т \eta_{экв} \eta_{дв}} \left[(1{,}25\,\eta_{дв} - \eta_{экв} - 0{,}25\,\eta_{экв}\eta_{дв}) + \frac{(1-\eta_{дв})(1+\varepsilon_0)(\eta_{экв.б} - \eta_{экв})}{\eta_{экв.б}} \right], \quad (7\text{-}185)$$

где $P_{ст}$ — мощность статической нагрузки, кВт; $k_т$ — коэффициент нагрузки, определяется по табл. 8-4 в зависимости от режима работы механизма крана; ε_0 — фактическая относительная продолжительность включения; a — коэффициент использования ($a=1{,}3$ для металлургических механизмов, $a=1$ для прочих механизмов); $\eta_{дв}$ — номинальный к. п. д. электродвигателя; $\eta_{экв}$ — к. п. д. электропривода, определяется по графикам на рис. 8-11; $\eta_{экв.б}$ — базисный к. п. д. электропривода (см. табл. 8-4); k_a — коэффициент использования в системе электропривода $k_a=1$ для систем переменного и постоянного тока (механизмы передвижения), $k_a=0{,}5$ для систем постоянного тока (механизмы подъема).

Относительные значения нагрузок ступеней резисторов типовых схем крановых электроприводов установлены на основе опыта эксплуатации и приведены в табл. 7-9, 7-10. Отметим, что приведенные значения нагрузок ступеней резисторов могут быть рекомендованы и при проектировании.

Номинальные продолжительности включения резисторов принимаются следующими:

для механизмов режима Л — ПВ=25%.

для механизмов режимов С и Т при числе включений до 150 в час — ПВ=40%.

для механизмов режима Т (при числе включений свыше 150 в час) и режимов ВТ—ПВ=60%.

для механизмов режима ОТ—ПВ=100%.

Расчетный ток продолжительного режима резистора, А, определяется по формуле

$$I_р = \sqrt{\frac{1{,}1\cdot 10^{11} P_р}{R_н \sum R_{\%} \sum I_{\%}^2 R_{\%}}}, \qquad (7\text{-}186)$$

где $R_{\%}$ — относительное сопротивление ступени, %, по табл. 7-9 или 7-10; $I_{\%}$ — относительный ток нагрузки ступени сопротивления, %, определяемый по табл. 7-9 или 7-10.

Ток продолжительной нагрузки ступени резистора определяется из выражения

$$I_{ступ} = I_р I_{\%}/100. \qquad (7\text{-}187)$$

Таким образом, в результате расчета установлены основные параметры ступеней сопротивлений $R_{ступ}$ и $I_{ступ}$ при продолжительном режиме. Далее по данным табл. 7-7 и 7-8 выбираются конкретные типы ящиков и схемы их соединений.

Учитывая, что резисторы имеют постоянные времени нагрева значительно меньшие, чем постоянные времени электродвигателей, выбирая их, необходимо производить проверку возможности кратковременной работы при максимальных нагрузках. Резисторы для электроприводов механизмов подъема необходимо проверять на возможность работы в течение 60 с при токе $I_{100\%}$, т. е. при токе статической нагрузки. Резисторы для электроприводов механизмов передвижения необходимо проверять на включение в течение 30 с при токе $1{,}3\,I_{100\%}$, т. е. при токе, соответствующем среднему значению при четырех пусках подряд длительностью 7,5 с. Для механизмов режима Л и С, как правило, расчет и выбор ящиков следует вести исходя из обеспечения кратковременного режима, так как он всегда будет наиболее тяжелым.

При подборе ящиков резисторов может оказаться, что фактические значения ступеней сопротивлений будут отличаться от расчетных. Максимальные рекомендуемые отклонения фактических значений от расчетных приведены в табл. 7-11. При этом следует учесть, что производственный допуск на суммарное сопротивление резистора составляет ±10% его расчетного значения, а производственный допуск на отдельные ступени составляет до ±15% их расчетного значения.

Таблица 7-11

Допустимые отклонения сопротивлений резисторов от расчетных значений

Наименование	Расчетное значение, %	Допуск на отклонение от расчета +	Допуск на отклонение от расчета −
Общее сопротивление	80—150	5	5
Невыключаемое сопротивление	4—10	50	20
Степень противовключения	60—100	10	10
Пускотормозные ступени	5—10	30	20
	10—30	20	15
	30—50	20	10

г) Пример расчета по выбору резистора для кранового электропривода

Для электропривода механизма передвижения тележки металлургического крана весьма тяжелого режима работы со скоростью 1,0 м/с и ускорением 0,5 м/с² выбран электродвигатель переменного тока МТН 612-10 мощностью 50 кВт, частота вращения 573 об/мин, ПВ=60%. Напряжение между кольцами ротора 223 В. Ток ротора 140 А. Управляется магнитным контроллером К160. Число пусков в час 300. Суммарный маховой момент, приведенный к валу электродвигателя, 82 кг·м². Момент статической нагрузки 230 Н·м.

Для заданных параметров ускорения определяем: время разгона

$$t = v_н/a = 1{,}0/0{,}5 = 2 \text{ с};$$

$$M_{100\%} = GD^2_{общ}\, n_н/68{,}8t + M_с/1{,}8 = 82\cdot 573/68{,}8\cdot 2 + 230/1{,}8 = 470 \text{ Н·м};$$

расчетный ток резистора

$$I_{100\%} = I_н M_{100\%} n_н/9550P_н = 140\cdot 470\cdot 573/9550\cdot 50 \doteq 79 \text{ А};$$

номинальное сопротивление

$$R_н = E_{р.н}/\sqrt{3}\, I_{100\%} = 223/\sqrt{3}\cdot 79 = 1{,}62 \text{ Ом}.$$

Согласно табл. 7-9 для магнитного контроллера К160 находим разбивку ступеней сопротивлений и определяем сопротивление каждого резистора (в одной фазе):

Обозначение ступени	$R_{ступ}$, %	R, Ом
Р1—Р4	5	0,081
Р4—Р7	10	0,162
Р7—Р71	20	0,324
Р10—Р13	40	0,650
Р13—Р16	120	1,94
Общее	195	3,157

Находим расчетную мощность резистора (в трех фазах) по формуле

$$P_р = \frac{aP_{ст}}{k_т \eta_{экв} \eta_{дв}} \left[(\eta_{дв} - \eta_{экв}) + \frac{(1-\eta_{дв})(1+\varepsilon_0)(\eta_{экв.б} - \eta_{экв})}{\eta_{экв.б}} \right];$$

$$P_{ст} = \frac{M_{ст} n_н}{9550} = \frac{230\cdot 573}{9550} = 13{,}7 \text{ кВт}.$$

Определяем по табл. 8-4 параметры для условий режима ВТ: частота включений фактическая 300 в час, приведенная

$$z = 300 \frac{GD^2_{общ}}{1{,}2GD^2_{дв}} = 300 \frac{82}{1{,}2\cdot 21} = 980;$$

$$k_т = 0{,}75; \quad a = 1{,}3; \quad \eta_{экв.б} = 0{,}76;$$

$\eta_{экв} = 0{,}53$ для $z = 980$ согласно рис. 8-11;

$$P_р = \frac{1{,}3\cdot 13{,}7}{0{,}75\cdot 0{,}53\cdot 0{,}87} \left[(0{,}87 - 0{,}53) + \frac{(1-0{,}87)(1+0{,}6)(0{,}76-0{,}53)}{0{,}763} \right] = 21 \text{ кВт}.$$

На одну фазу приходится 21/3=7 кВт.

Определяем расчетный ток резистора по (7-186). Токовые нагрузки $I_{\%}$ по ступеням берем из табл. 7-9:

$$I_р = \sqrt{\frac{1{,}1\cdot 10^{11} P_р}{R_н \Sigma R_{\%} \Sigma I_{\%}^2 R_{\%}}} = \sqrt{\frac{1{,}1\cdot 10^{11}\cdot 7}{1{,}62\cdot 195(83^2\cdot 5 + 59^2\cdot 30 + 42^2\cdot 40 + 21^2\cdot 120)}} = 96 \text{ А}.$$

Значения расчетных токов по ступеням:

Обозначение ступени	$I_{\text{ступ}}$, %	I, А
Р1—Р4	83	80
Р4—Р71	59	57
Р10—Р13	42	40,0
Р13—Р16	21	20,0

В соответствии с таблицей нормализованных ящиков резисторов НФ 1А выбираем для ступеней *Р10—Р16* ящик 2ТД.754.054.11, имеющий длительный ток 41 А и сопротивление 3,1 Ом. Для ступеней *Р1—Р71* выбираем ящик 2ТД.754.054.07, имеющий длительный ток 82 А и сопротивление 0,78 Ом.

Схема включения одной фазы резистора приведена на рис. 7-60.

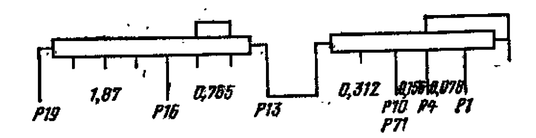


Рис. 7-60. Схемы соединения ящиков резисторов.

В результате расчета составляем итоговую табл. 7-12.

Учитывая, что отклонение фактических значений сопротивлений от расчетных не превышает допустимых значений, а нагрузки по току ступеней резисторов имеют запас, резистор выбран правильно. Проверки по кратковременному режиму не производим, так как расчетный ток $I_{100\%}$ =96 А близок к длительному току пусковых ступеней. Аналогичным способом могут быть рассчитаны резисторы для других крановых электроприводов.

Таблица 7-12

Обозначение ступени	R, %	I, %	Расчетные параметры: R, Ом	Расчетные параметры: I, А	Фактические параметры: R, Ом	Фактические параметры: I, А	Отклонение сопротивления от расчета, %	Запас по току, %
Р1—Р4	5	83	0,081	80,0	0,078	82	—3,0	2
Р4—Р7	10	59	0,162	57,0	0,156	82	—4,0	44
Р7—Р71	20	59	0,324	57,0	0,312	82	—4,0	44
Р10—Р13	40	42	0,65	40,0	0,765	41	+18	2
Р13—Р16	120	21	1,94	20,0	1,87	41	—3,5	100
Всего	—	—	3,157	—	3,181	—	+1,0	—

д) Специальные резисторы для крановых электродвигателей

Из примера расчета следует, что резисторы, скомплектованные из нормализованных ящиков, как правило, имеют значительный запас по нагрузке, а следовательно, и более значительные габариты. В среднем резисторы, скомплектованные из нормализованных ящиков, имеют габариты на 15—25% больше, чем если бы резистор специально конструировался для соответствующего электропривода. Это объясняется тем, что в нормализованных ящиках все ступени имеют одинаковый допустимый ток, тогда как фактическая нагрузка разных ступеней различная, но ящик приходится выбирать по наибольшей нагрузке.

Для наиболее распространенных электроприводов крановых механизмов, составляющих свыше 80% объема производства, разработаны и поставляются специальные исполнения ящиков резисторов, рассчитанные применительно к определенному типу электродвигателя (или мощности), под определенную схему управления и на один из стандартизованных режимов работы.

Таблица 7-13

Резисторы к крановым электроприводам постоянного тока для механизмов режимов работы Л, С, Т при номинальной продолжительности включения электродвигателя ПВ=40% и числе пусков в час кулачковых контроллеров до 150, а магнитных контроллеров — до 300

Расчетная нагрузка двигателя, кВт	Тип кулачкового контроллера	Каталожный номер резистора	Тип резистора	Тип кулачкового контроллера	Каталожный номер резистора	Тип резистора	Тип магнитного контроллера	Каталожный номер резистора	Тип резистора
⩽2,8	КВ 101 для механизмов передвижения	2ТД.750.020-31	НФ 11А	КВ 102 для механизмов подъема	2ТД.750.020-75	НФ 11А	П, ДП для механизмов передвижения		
2,8—4,0		2ТД.750.020-74	НФ 11А		2ТД.750.020-76	НФ 11А		2ТД.750.020-78	НФ 11А
4,0—5,6		2ТД.750.020-73	НФ 11А		2ТД.750.020-77	НФ 11А		2ТД.750.020-79	НФ 11А
5,6—8,0		2ТД.754.055-01	НФ 2А		2ТД.750.020-86	НФ 11А		2ТД.754.055-20	НФ 2А
8,0—10								2ТД.754.055-28	НФ 2А
10—13		2ТД.754.055-02	НФ 2А		2ТД.750.055-06	НФ 2А		2ТД.754.055-29	НФ 2А
13—17		2ТД.754.055-04	НФ 2А		2ТД.750.055-08	НФ 2А		2ТД.754.055-30	НФ 2А
17—20		2ТД.754.055-05	НФ 2А		—	—		2ТД.754.055-31	НФ 2А
20—24		—	—		—	—		2ТД.754.057-51	НФ 3А
24—28		—	—		—	—		2ТД.754.057-52	НФ 3А
24—33		—	—		—	—		2ТД.754.057-53	НФ 3А

Резисторы для режимов ОТ подбираются из стандартных ящиков.

В табл. 7-13 приведены технические данные резисторов к крановым электроприводам постоянного тока при номинальной продолжительности включения электродвигателя до 40%. Для всех остальных электроприводов с мощностью электродвигателей, выше указанных в табл. 7-13, применяются нормализованные ящики резисторов.

Рекомендации по применению нормализованных ящиков приведены в каталогах. Однако для электроприводов тяжелого режима работы с большой частотой включений более целесообразно выбор резисторов вести по описанной выше методике. Это позволяет обеспечить наилучшие условия разгона и торможения электродвигателя конкретного электропривода.

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

СТАТИКА, ДИНАМИКА И ЭНЕРГЕТИКА КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЕЙ

8-1. СТАТИКА И ДИНАМИКА КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

а) Определение статических и расчетных нагрузок

Момент статической нагрузки двигателя определяется приведенными к его валу силами полезных и вредных сопротивлений. Соответственно статическая мощность механизма с учетом потерь в его звеньях определяет статическую мощность нагрузки двигателя. Обязательным условием правильного расчета крановых электроприводов является учет нагрузок двигателя в переходных режимах. Указанные нагрузки характеризуются расчетным моментом на валу двигателя и соответствующей ему расчетной мощностью, под которыми понимаются значения названных параметров, определяющие выбор двигателя по условиям обеспечения нормального пуска.

Ниже приводятся расчетные формулы для определения нагрузок двигателей механизмов крана.

Механизм подъема. Статическая мощность на валу двигателя механизма подъема крана и подъемной лебедки грейфера, кВт,

$$P_{\text{ст}} = 9{,}81\, Q v_{\text{н}}/\eta, \tag{8-1}$$

где Q — масса груза с подвеской, т; $v_{\text{н}}$ — номинальная скорость подъема груза, м/с; η — к. п. д. механизма с блоками.

Максимальная статическая мощность двигателя замыкающей лебедки наполненного грейфера массой Q, кВт,

$$P_{\text{ст.макс}} = 19{,}6\, Q v_{\text{н}}/\eta. \tag{8-2}$$

Расчетная мощность двигателя подъемной лебедки

$$P_{\text{р}} = P_{\text{ст.макс}} \tag{8-3}$$

и замыкания грейфера

$$P_{\text{р}} = 0{,}5\, P_{\text{ст.макс}}. \tag{8-4}$$

Механизмы передвижения моста или тележки крана. Нагрузка на привод механизма передвижения в общем случае складывается из трения в ходовых частях на прямолинейном пути, дополнительного трения на криволинейном участке пути, сил сопротивления на уклонах и составляющей от силы давления ветра. Определяемая этими нагрузками мощность на валу двигателя, кВт, составляет:

$$P_{\text{ст}} = \frac{9{,}81\,(f_0 G + lG + G \sin\gamma + \Sigma p_{\text{в}} S_{\text{в}})\, v_{\text{н}}}{\eta}, \tag{8-5}$$

где G — масса перемещаемых частей крана, т; f_0 — приведенный к диаметру колеса коэффициент трения; l — коэффициент, зависящий от конструкции колеса и характеристик подкранового пути; γ — угол уклона пути; $p_{\text{в}}$ — расчетное удельное давление ветра, т/м²; $S_{\text{в}}$ — наветренная площадь поверхности перемещаемых частей крана и груза, перпендикулярная к напряжению ветра, м²; $v_{\text{н}}$ — номинальная скорость передвижения крана, м/с.

Выполнение расчетов по (8-5) требует знания конструктивных данных механизмов. В практических расчетах можно приближенно принять (при отсутствии ветровой нагрузки) удельное сопротивление движению равным 80 Н на тонну массы перемещаемой конструкции (при качении колес по рельсам и подшипниках качения, а также нормальном состоянии подкранового пути).

В этом случае статическая мощность на валу двигателя определится следующими приближенными выражениями:

при передвижении в помещении

$$P_{\text{ст}} = (Q + G)\, v_{\text{н}}/10\,\eta; \tag{8-6}$$

при передвижении на открытых площадках и расчетной скорости ветра 20 м/с

$$P_{\text{ст.макс}} = \frac{1}{\eta}\left[\frac{Q+G}{10} + 0{,}5\,(Q+G)^{2/3}\right] v_{\text{н}}. \tag{8-7}$$

Расчетная мощность при условии кратности максимального момента двигателя $2{,}2 M_{\text{н}}$ составляет:

$$P_{\text{р}} = 0{,}67\,(Q+G)\,\frac{v_{\text{н}}^2}{t_{\text{п}}} + \frac{P_{\text{ст}}}{1{,}7}, \tag{8-8}$$

где $P_{\text{ст}}$ — статическая мощность, определяемая по (8-6) или (8-7); $t_{\text{п}}$ — время пуска.

Время пуска обычно составляет не менее 1 с и не более 8 с. Среднее расчетное время пуска может быть принято равным 4 с.

Механизм поворота. Нагрузка на привод механизма поворота складывается из трения в опорах механизма, ветровой нагрузки и нагрузки, связанной с креном. В практических расчетах можно принять удельное сопротивление движению (без ветра) при расчете привода механизма поворота равным 65 Н на тонну массы. Исходя из этого условия максимальную статическую мощность при скорости ветра 20 м/с и отсутствии крена определяют выражением

$$P_{\text{ст.макс}} = \frac{l n_{\text{н.к}}}{9{,}6\eta}\left[\frac{Q+G}{12} + 0{,}5\,(Q+0{,}5G)^{2/3}\right], \tag{8-9}$$

где $n_{\text{н.к}}$ — частота вращения крана, об/мин; l — вылет стрелы, м.

Максимальная статическая мощность при скорости ветра 20 м/с и крене 5° составляет:

$$P_{\text{ст.макс}} = \frac{l n_{\text{н.к}}}{9{,}6\eta}\left[\frac{2Q+G}{12} + 0{,}5\,(Q+0{,}5G)^{2/3}\right]. \quad (8\text{-}10)$$

Расчетная мощность электропривода определяется при условии кратности максимального момента $2M_{\text{н}}$ и с учетом того, что среднее значение нагрузки при повороте составляет около 0,8 максимального значения. При этом

$$P_{\text{р}} = 0{,}54\,(0{,}5Q + G)\,\frac{l^2 n^2_{\text{н.к}}}{92 t_{\text{п}}} + \frac{P_{\text{ст}}}{2{,}2}. \quad (8\text{-}11)$$

Механизм изменения вылета стрелы. В зависимости от конструкции крана при работе механизма изменения вылета стрелы груз может совершать или только горизонтальное перемещение, или же наряду с горизонтальным еще и вертикальное перемещение.

Максимальная статическая мощность электропривода, кВт, в случае только горизонтального перемещения груза массой Q, т, составляет:

$$P_{\text{ст.макс}} = Q v_{\text{н.г}}/5\eta, \quad (8\text{-}12)$$

где $v_{\text{н.г}}$ — максимальная скорость горизонтального перемещения груза, м/с. Когда горизонтальное перемещение сопровождается одновременным подъемом груза, максимальная статическая мощность определяется выражением

$$P_{\text{ст.макс}} = \frac{Q}{5\eta}\,(v_{\text{н.г}} + 50\,v_{\text{н.в}}), \quad (8\text{-}13)$$

где $v_{\text{н.в}}$ — вертикальная составляющая скорости перемещения груза.

Расчетная мощность электропривода механизма изменения вылета стрелы, кВт, равна максимальной статической мощности

$$P_{\text{р}} = P_{\text{ст.макс}}. \quad (8\text{-}14)$$

По найденной мощности момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, определяется по формуле

$$M = 9550\,\frac{P_{\text{р}}}{n}, \quad (8\text{-}15)$$

где n — частота вращения двигателя, об/мин.

Момент на валу двигателя может быть определен непосредственно, если известно усилие сопротивления перемещения F, Н, по формуле

$$M = 9{,}55\,\frac{Fv}{\eta n}. \quad (8\text{-}16)$$

б) Учет изменения к. п. д. механизма при расчете нагрузки

Коэффициент полезного действия механизма определяется суммой постоянных и переменных потерь и является функцией нагрузки, уменьшаясь с ее снижением, поэтому для пользования приведенными выше зависимостями необходимо иметь значения к. п. д. для промежуточных нагрузок. Такие зависимости $\eta = f(M/M_{\text{н}})$ приведены на рис. 8-1.

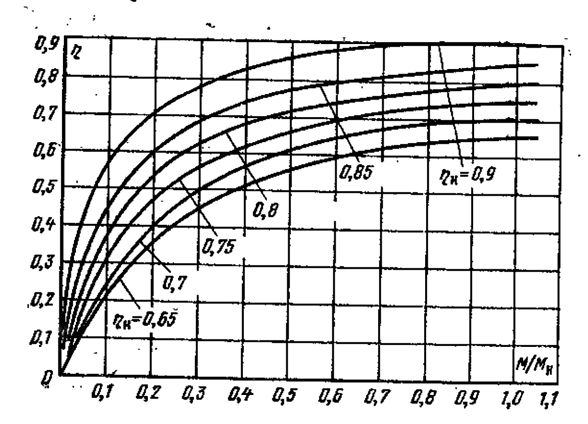


Рис. 8-1. Зависимости к. п. д. передач в функции от загрузки.

Момент на валу двигателя при промежуточной нагрузке может быть рассчитан по формуле

$$M = M_{\text{н}}\,\frac{\dfrac{M}{M_{\text{н}}}\,(k_{\text{п.п}} + \eta_{\text{н}}) + (1 - \eta_{\text{н}})}{1 + k_{\text{п.п}}}, \quad (8\text{-}17)$$

где $M/M_{\text{н}}$ — отношение текущего значения нагрузки к номинальной; $k_{\text{п.п}}$ — коэффициент, определяющий долю переменных потерь в механизме при номинальной нагрузке.

При передаче энергии от рабочего органа к двигателю, что имеет место в тормозном режиме, момент двигателя, Н·м, рассчитывается по выражению

$$M = M_{\text{н}}\,(2\eta - 1)\,\frac{\dfrac{M}{M_{\text{н}}}\,(2 + k_{\text{п.п}} - \eta_{\text{н}}) - (1 + \eta_{\text{н}})}{1 + k_{\text{п.п}}}, \quad (8\text{-}18)$$

где η — к. п. д. при нагрузке M в двигательном режиме.

Таблица 8-1

Значения к. п. д. и коэффициентов $k_{\text{п.п}}$ для различных типов передач крановых механизмов

Наименование узла	Значения к. п. д. и коэффициентов $k_{\text{п.п}}$ для механизмов					
	Лебедки с канатными барабанами		Механизмы передвижения тележек и мостов		Механизмы поворота	
	$\eta_{\text{н}}$	$k_{\text{п.п}}$	$\eta_{\text{н}}$	$k_{\text{п.п}}$	$\eta_{\text{н}}$	$k_{\text{п.п}}$
Узел блока канатной передачи	0,98—0,99	1	0,98	1	—	—
Канатоукладчик барабана	0,98	1	—	—	—	—
Шестеренчатый двухступенчатый редуктор и открытая передача	0,75—0,8	0,9	0,7—0,8	0,85	0,78—0,82	0,9
Шестеренчатый редуктор трехступенчатый или планетарный двухступенчатый	0,8—0,84	0,9	0,76—0,82	0,9	0,82—0,86	0,9
Червячная передача несамотормозящаяся	0,7	0,85	0,65—0,7	0,85	0,65	0,85
Червячная передача самотормозящаяся	0,35—0,47	0,5	0,42—0,5	0,5	0,37—0,48	0,5

Ориентировочные значения номинальных к. п. д. для различных передач и соответствующие им значения коэффициентов $k_{п.п}$ приведены в табл. 8-1.

Поскольку цикл кранового механизма включает его движения как под нагрузкой, так и вхолостую, то ориентировочно можно принять, что среднеквадратичная нагрузка: при $\eta_в=0{,}8$ составляет 60% расчетной, при $\eta_в=0{,}7$—55% и при $\eta_в=0{,}6$—50%.

в) Моменты инерции. Расчет времени переходных режимов. Ускорения

Уравнение движения электропривода при постоянном моменте инерции имеет вид:

$$M - M_{ст} = J\frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{38{,}2}\frac{dn}{dt}, \qquad (8\text{-}19)$$

где J — момент инерции системы, приведенный к валу двигателя, кг·м²; GD^2 — приведенный маховой момент системы, кг·м², причем

$$GD^2 = 4J. \qquad (8\text{-}20)$$

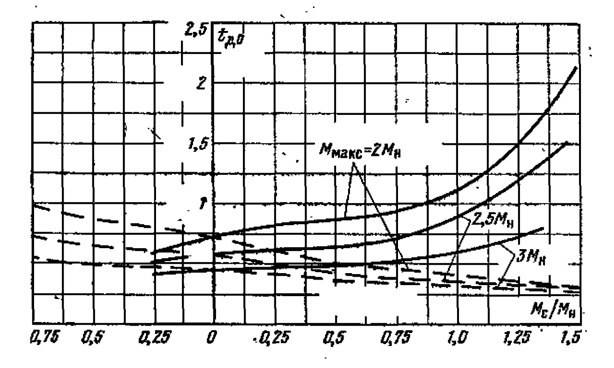


Рис. 8-2. Зависимости $t_{д0}=f(M_c/M_н)$ для электроприводов с короткозамкнутыми асинхронными двигателями. ——— — разгон; — — — — торможение.

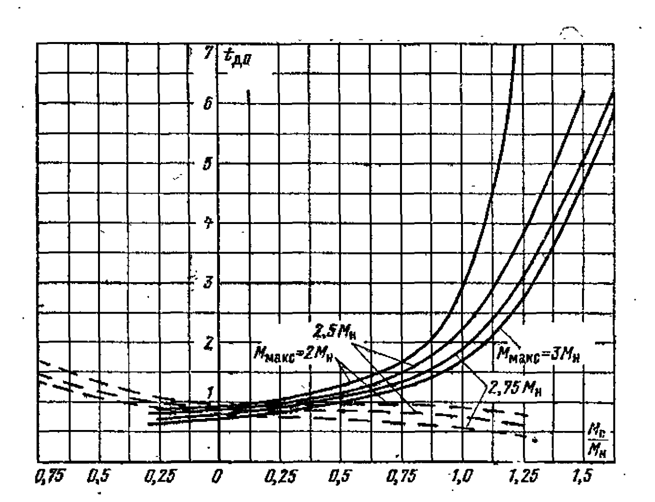


Рис. 8-3. Зависимости $t_{д0}=f(M_c/M_н)$ для электроприводов с асинхронными двигателями с фазным ротором. ——— — разгон; — — — — торможение.

Приведение вращающихся частей осуществляется по формуле

$$GD^2_{прив} = GD^2_{вр}/i^2, \qquad (8\text{-}21)$$

где $GD^2_{вр}$ — маховой момент вращающихся масс; i — передаточное отношение.

Приведение поступательно движущихся масс выполняется по выражению

$$GD^2_{прив} = 101Q\,v^2/n^2, \qquad (8\text{-}22)$$

где v — скорость, м/мин, а Q — грузоподъемность, т.

Полный приведенный к валу двигателя маховой момент всех вращающихся и поступательно движущихся масс привода и груза рассчитывается по формуле

$$GD^2_{прив} = k_{вр}\,GD^2_{дв} + 101\frac{Qv^2}{n^2}, \qquad (8\text{-}23)$$

где коэффициент $k_{вр}$ учитывает маховой момент вращающихся частей. $k_{вр}=1{,}1$—$1{,}25$; $GD^2_{дв}$ — маховой момент двигателя.

В соответствии с (8-19) время протекания динамического режима пуска или торможения электропривода, с, определяется выражением

$$t_д = \frac{GD^2}{38{,}2}\int\limits_{n_{нач}}^{n_{кон}}\frac{dn}{M - M_{ст}}, \qquad (8\text{-}24)$$

или, если параметры выразить в относительных единицах,

$$t_д = T_м\int\limits_{n_{нач*}}^{n_{кон*}}\frac{dn_*}{M_*-M_{ст*}} = T_м\,t_{д0}, \qquad (8\text{-}25)$$

где

$$t_{д0} = \int\limits_{n_{нач*}}^{n_{кон*}}\frac{dn_*}{M_* - M}; \qquad (8\text{-}26)$$

$T_м$ — электромеханическая постоянная: $T_м=GD^2n_н/38{,}2\,M_н$; $n_*=n/n_н$ — для электроприводов постоянного тока; $T_м=GD^2n_c/38{,}2\,M_н$; $n_*=n/n_c$ — для электроприводов переменного тока $M_*=M/M_н$, $M_{ст*}=M_{ст}/M_н$.

Время переходного режима согласно (8-24) пропорционально электромеханической постоянной системы $T_м$ и времени $t_{д0}$, определяемому при заданном моменте статической нагрузки механическими характеристиками электропривода.

На рис. 8-2—8-4 представлены графики зависимостей $t_{д0}=\int\limits_0^1\frac{dn_*}{(M_* - M_{ст*})}$, рассчитанные при различных значениях $M_{ст}/M_н$ для разгона и торможения крановых электроприводов по типовым механическим характеристикам, позволяющие в соответствии с (8-25) найти времена переходных режимов.

В регулируемых электроприводах задача определения времени переходного режима значительно упрощается, если процессы пуска или торможения протекают при постоянстве момента двигателя или постоянстве динамического момента. При этом в соответствии с (8-25)

$$t_д = T_м\frac{n_{кон*} - n_{нач*}}{M_{д*}}, \qquad (8\text{-}27)$$

где $M_{д*}=M_{макс*} - M_{ст*}$.

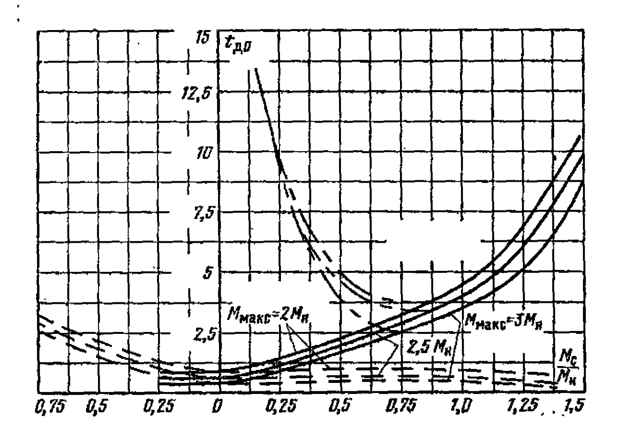


Рис. 8-4. Зависимости $t_{д0}=f(M_c/M_н)$ для электроприводов с двигателями постоянного тока последовательного возбуждения.

——— — разгон до номинальной скорости; —·—·— разгон до фактической скорости; — — — — торможение.

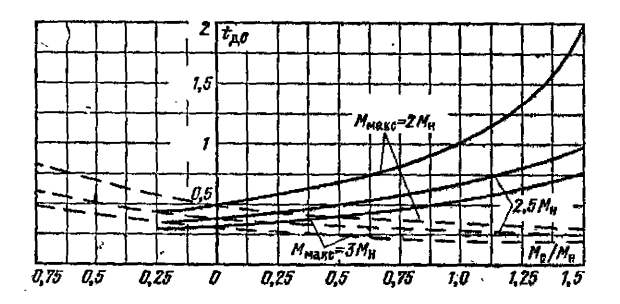


Рис. 8-5. Зависимости $t_{д0}=f(M_c/M_н)$ для систем с постоянным максимальным моментом при пуске (сплошные линии) и торможении (пунктирные линии).

В первом случае $t_д$, как и для рассмотренных выше систем, является функцией момента статической нагрузки.

Зависимость $t_{д0}=1/(M_{макс*}-M_{ст*})$ приведена на рис. 8-5.

Во втором случае $t_д$ не зависит от статической нагрузки и пускотормозные режимы привода протекают при постоянных ускорениях.

Приведенные выше расчетные и графические зависимости определяют полное время протекания пусковых или тормозных режимов при разгоне привода до номинальной скорости. Если разгон ведется не до номинальной скорости, то время переходного режима можно оценить, имея в виду, что при использовании типовых магнитных контроллеров привод достигает скорости $0{,}6\,n_н$ приблизительно за время, равное 1/3 времени пуска, и скорости $0{,}9\,n_н$ за время, равное 2/3 времени пуска.

При расчете времени пуска в случае применения двигателей последовательного возбуждения следует различать время разгона до номинальной скорости (на рис. 8-4 сплошные линии), и время разгона до фактической рабочей скорости, соответствующей нагрузке, меньшей номинальной (на рис. 8-4 штрихпунктирные линии).

Время торможения на рис. 8-2—8-5 рассчитывалось от действия только электрического торможения (без наложения тормоза). При совмещении электрического и механического торможения указанное время должно быть снижено в соответствии со значениями тормозных моментов двигателя и тормоза.

Время переходных режимов имеет важное значение для расчета крановых электроприводов и определения производительности крановых механизмов. Его значение определяется допустимыми ускорениями (замедлениями), которые выбираются исходя из технологических требований и возможностей крана. Верхние пределы ускорений ограничиваются сцеплением колес с рельсами, раскачиванием груза, динамическими усилиями в звеньях механизма (см. § 8-1, б), а также допустимыми моментами двигателя. Значения ускорения, которые удовлетворяют технологическим требованиям, предъявляемым к крану, зависят от характера груза, назначения крана, его скоростных параметров и пути перемещения груза.

Рост требований к производительности обусловливает необходимость увеличения ускорений. С другой стороны, мощность выбранного двигателя должна быть достаточной для обеспечения необходимого ускорения, иначе двигатель попадает в недопустимые условия по нагреванию. Увеличение времени работы двигателя с нагрузкой, близкой к максимальной, приводит к быстрому выходу двигателя из строя. Практически время пуска находится в пределах от 1 до 8 с.

При применении силовых контроллеров продолжительность пуска и соответствующее ему ускорение во многом зависит от крановщика. Продолжительность пуска, предусмотренная типовыми конструкциями контроллеров, составляет 4—6 с. Однако в ряде случаев указанное время может оказаться недостаточным и необходимо принять специальные контроллеры. Средние значения ускорений соответствуют указанным временам пуска и для различных типов крановых механизмов приведены в табл. 1-2. Они составляют для механизмов передвижения 0,3—0,4 м/с², а для некоторых механизмов могут достигать 0,6 м/с² и выше. Для механизмов подъема перегрузочных кранов ускорения могут достигать значений 1—1,5 м/с².

При торможении замедления превышают в 1,3—1,6 раза указанные выше значения ускорений.

Следует различать значения средних ускорений (замедлений), определяемые по формуле

$$a_{ср}=v_н/t_д, \qquad (8\text{-}28)$$

и мгновенных ускорений, определяемых выражением (8-19). Максимальное значение ускорения соответствует максимальному динамическому моменту и при пуске равно:

$$a_{макс.п}=\frac{38,2v\,(\lambda_п-M_{мин*})\,M_н}{GD^2n}; \qquad (8\text{-}29)$$

при торможении максимальное замедление

$$a_{макс.т}=\frac{38,2v\,(\lambda_т+M_{макс*})\,M_н}{GD^2n}, \qquad (8\text{-}30)$$

где $\lambda=M_{макс}/M_н$ — отношение максимально возможного момента при пуске или торможении к номинальному моменту двигателя; $M_{мин*}$ и $M_{макс*}$ — соответственно минимальная относительная нагрузка механизма при пуске и максимально возможная при торможении.

Значения мгновенных ускорений могут значительно превосходить приведенные в табл. 1-2 значения средних ускорений.

г) Вопросы влияния электропривода на работу механизмов в переходных режимах

Задачи увеличения производительности крановых механизмов приводят к росту их скоростных параметров и необходимости сокращения длительности протекания

пускотормозных режимов. Однако следствием увеличения скоростных параметров и ускорений могут явиться значительные перегрузки в звеньях механизмов, возникновение упругих колебаний системы, а также раскачивание груза. Поэтому учет влияния указанных факторов при проектировании крановых систем имеет важное значение.

Нагрузки в механизмах вертикального перемещения груза. Рассмотрим максимальные усилия, возникающие в тросе в двух крайних случаях: при ограниченном, но постоянном пусковом моменте двигателя и при идеально жесткой механической характеристике электропривода. Такое сравнение позволит сделать выводы о целесообразности и необходимых пределах регулирования пускового момента. При допущении постоянства пускового момента и линейном законе изменения удлинения троса максимальное усилие в тросе определяется выражением

$$\frac{F_{\text{макс}}-Q_F}{Q_F}=\frac{M_F-Q_F}{Q_F}\,\frac{m_э}{m_{дв}}+\sqrt{\frac{\Delta v_0\,Eqm_э}{Q^2 l}+\frac{(M_F-Q_F)^2}{Q_F^2}\left(1-\frac{m_э}{m_{дв}}\right)^2},\quad (8\text{-}31)$$

где $F_{\text{макс}}$ — максимальное усилие в тросе;

$M_F=0{,}105\,\dfrac{M_п\eta}{v/n}$ — пусковой момент, приведенный к усилию в тросе; $m_э=m_{гр}m_{дв}/(m_{гр}+m_{дв})$ — масса элементов системы, вращающихся со скоростью двигателя, приведенная к грузу; $m_{гр}$ — масса груза; $m_{дв}$ — приведенная масса ротора двигателя, равная $m_{дв}=J_{дв}(\omega/v)^2$; $J_{дв}$ — момент инерции двигателя; E — модуль упругости троса; q — сечение троса; l — длина троса между барабаном и грузом; Q_F — вес груза; Δv_0 — начальная разность между скоростями грузового барабана и груза.

При жесткой механической характеристике электропривода выражение для максимального усилия в тросе имеет вид:

$$\frac{F_{\text{макс}}-Q_F}{Q_F}=\Delta v_0\sqrt{\frac{Eqm_{гр}}{Q_F^2\, l}}.\quad (8\text{-}32)$$

Из сравнения выражений (8-31) при ограничении пускового момента моментом, равным статическому моменту, и (8-32) следует:

$$\frac{F_{\text{макс}}}{F_{\text{макс при } M_F=Q_F}}=\sqrt{\frac{1}{m_{гр}/m_{дв}+1}}.\quad (8\text{-}33)$$

Для обычных грузоподъемных механизмов отношение $m_{гр}/m_{дв}$ не превышает 0,2 и максимальная нагрузка в грузовом канате за счет введения ограничения пускового момента может быть снижена не более чем на 10%. Только для ряда грузоподъемных механизмов, имеющих уравновешенную систему, таких, как лифты, $m_{гр}/m_{дв}$ значительно больше указанного, и снижение максимального усилия может быть более значительным, до 25—30%.

Кардинальным средством снижения ударных (максимальных) усилий является снижение приращения скорости, т. е. обеспечение характеристик, пересекающих ось ординат при скоростях, ниже синхронной.

Выражение для определения минимальной скорости может быть получено из (8-32), если в него подставить обычные для грузоподъемных механизмов значения $m_{дв}/m_{гр}$, Q_F/q и E:

$$\frac{M_F-Q_F}{Q_F}=14{,}3\frac{\Delta v_0}{\sqrt{l}}.$$

При наименьшей практически реализуемой длине троса 5 м и допустимой кратности увеличения нагрузки в тросе, равной 2,5, минимальная скорость подъема составляет 0,25 м/с.

Максимальное усилие при торможении определяется выражением

$$F_{\text{макс}}=Q_F+\frac{2(M_F\pm Q_F)}{1+m_{дв}/m_{гр}},\quad (8\text{-}34)$$

где знак плюс относится к торможению при подъеме груза, а минус — при его спуске. Максимальное усилие при торможении во время подъема намного выше, чем во время спуска для одинаковых усилий M_F. Это объясняется тем, что при торможении во время подъема возможно ослабление канатов в момент остановки, вызывающее свободное падение груза. Для предотвращения недопустимых ударов при торможении необходимо, чтобы замедление не превышало ускорения свободного падения g. Скорость, соответствующая максимальному ослаблению канатов, равна:

$$v_{кон}=v_{нач}-\frac{Q_F+M_F}{m_{дв}+m_{гр}}\,\frac{\pi}{\sqrt{cm_э}},\quad (8\text{-}35)$$

где $v_{нач}$ — начальная скорость торможения; c — жесткость каната.

Ударные нагрузки в механизмах горизонтального перемещения. Ударные нагрузки и меры по их ограничению для рассматриваемых механизмов зависят от характера протекания переходных процессов в системе, определяемого частотой собственных колебаний. Для механизмов, период собственных колебаний которых находится в пределах 0,006—0,4 с, максимальные усилия в звеньях механизма практически не зависят от характера возмущающей силы, поэтому уменьшение пускового или тормозного момента в пускотормозных режимах не сказывается на максимальных перегрузках.

Максимальные усилия в звеньях механизмов перемещения и поворота определяются при разгоне по формуле

$$F_{\text{макс}}=M_F\frac{m_{гр}}{m_{дв}+m_{гр}}+W\frac{m_{дв}}{m_{дв}+m_{гр}}+\sqrt{\frac{m_{гр}}{(m_{дв}+m_{гр})^2}\left[Wm_{дв}(2M_F-W)+M_F^2 m_{гр}\right]}.\quad (8\text{-}36)$$

При торможении

$$F_{\text{макс}}=2M_F\frac{m_{гр}}{m_{дв}+m_{гр}}+W\frac{m_{гр}-m_{дв}}{m_{дв}+m_{гр}},\quad (8\text{-}37)$$

где $m_{гр}$ — масса поступательно движущихся элементов механизма; $m_{дв}$ — эквивалентная масса ротора двигателя и элементов, вращающихся на его валу; W — сопротивление движению.

Наибольшие усилия при разгоне и торможении механизмов горизонтального перемещения, рассчитанные по (8-36) и (8-37), приведены в табл. 8-2.

Для механизмов с $m_{гр}\gg m_{дв}$ максимальное усилие может быть принято равным

$$F_{\text{макс}}=2M_F;\quad (8\text{-}38)$$

здесь 2 — коэффициент динамичности k. В случае использования тормозов с гидротолкателями значение k может быть принято равным 1,5. Для систем, период собственных колебаний которых соизмерим со временем переходного режима, нагрузка в элементах механизмов может быть снижена путем использования мягкой механической характеристики. Для таких систем

Таблица 8-2

Максимальные усилия в механизмах горизонтального передвижения кранов

Наименование	$\frac{m_{гр}}{m_{дв}+m_{гр}}$	$\frac{m_{гр}-m_{дв}}{m_{дв}+m_{гр}}$	$F_{макс}/M_F$			
			при разгоне		при торможении	
			$\frac{W}{M_F}=0,5$	$\frac{W}{M_F}=0,25$	$\frac{W}{M_F}=0,5$	$\frac{W}{M_F}=0,25$
Механизм передвижения тележки	0,58	0,162	1,51	1,35	1,24	1,20
	0,73	0,455	1,69	1,59	1,69	1,57
Механизм передвижения моста	0,715	0,43	1,67	1,56	1,65	1,54
	0,855	0,71	1,84	1,78	2,07	1,89
Механизм поворота	0,93	0,86	1,92	1,89	2,29	2,08

максимальное усилие в переходных режимах определяется выражением

$$F_{макс}=kM_F\frac{m_{гр}}{m_{дв}+m_{гр}}. \qquad (8\text{-}39)$$

Коэффициент k зависит от соотношения между периодом собственных колебаний системы T и электромеханической постоянной времени привода $T_м$. Эта зависимость приведена на рис. 8-6. Период собственных колебаний

$$T=2\pi\sqrt{J_{экв}/c}, \qquad (8\text{-}40)$$

где $J_{экв}=J_{дв}J_{гр}/(J_{дв}+J_{гр})$; $J_{дв}$ и $J_{гр}$ — соответствуют массам $m_{дв}$ и $m_{гр}$.

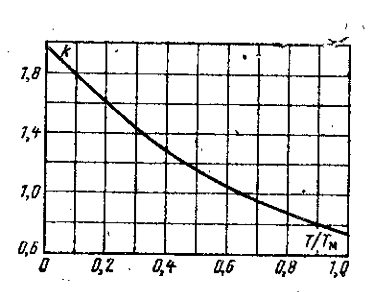


Рис. 8-6. Зависимость коэффициента динамичности от параметров электропривода и механизма.

Электромеханическая постоянная времени

$$T_м=(J_{дв}+J_{гр})\frac{\omega_x}{M_{нач}}, \qquad (8\text{-}41)$$

где ω_x и $M_{нач}$ — угловая скорость идеального холостого хода и начальный момент двигателя в переходном режиме.

При $T/T_м=0$ согласно рис. 8-6 $k=2$.

Так как механизмы передвижения и поворота обладают большим моментом инерции, то при выборе зазоров в передачах могут иметь место значительные удары. Для устранения недопустимых ударов в механизме необходимо, чтобы электропривод обеспечивал отдельную механическую характеристику с небольшим пусковым моментом.

Распределение перегрузок вдоль кинематической цепи механизма. Максимальные нагрузки в отдельных звеньях механизма уменьшаются с удалением от узла приложения возмущающего усилия вследствие расхода энергии на разгон (торможение) маховых масс отдельных звеньев и потерь в них. Относительный момент перегрузки вдоль кинематической цепи отдельного звена механизма можно рассчитать по выражению

$$M_{зв*}=M_{ст.зв*}+(M_{макс*}-M_{ст.зв*})\frac{GD^2_{зв}}{GD^2_{\Sigma}}, \qquad (8\text{-}42)$$

где $M_{ст.зв*}=M_{ст.зв}/M_н$; $M_{зв*}=M_{макс.зв}/M_н$; $GD^2_{зв}$ — приведенный к валу двигателя маховой момент части системы (звена), следующей за валом, для которого определяется перегрузка; GD^2_{Σ} — суммарный приведенный к валу двигателя маховый момент системы.

Таким образом, перегрузка, отнесенная к номинальному моменту двигателя, падает вдоль кинематической оси тем быстрее, чем меньше загрузка механизма. Перегрузка растет с увеличением момента, развиваемого двигателем, и зависит от распределения приведенных маховых масс по звеньям механизмов. В тех случаях, когда приняты значительные рабочие скорости, массы перемещаемого груза и тележки играют существенную роль в общем балансе кинематической энергии, и уменьшение кратности перегрузки момента вдоль кинематической оси незначительно, поэтому опасность поломки при пуске будет не только на первой зубчатой передаче, но и на последующих. При малых рабочих скоростях и больших передаточных отношениях влияние перемещаемого груза и тележки по сравнению с моментом инерции ротора незначительно.

Раскачивание груза. В процессе пуска и торможения механизмов передвижения и поворота кранов возникают колебания подвешенного на канате груза. Раскачивание отрицательно сказывается на производительности и других эксплуатационных показателях крановых устройств. В тех случаях, когда время разгона привода значительно меньше периода колебаний груза, а момент двигателя постоянен, то период колебаний определяется зависимостью

$$T=2\pi\sqrt{l/g}, \qquad (8\text{-}43)$$

где l — высота подвеса груза.

Обозначим через $v_{нач}$ и $v_{кон}$ — начальную и конечную скорости точки подвеса. Максимальное отклонение груза от вертикали соответствует переходу сразу на большую скорость ($v_{нач}=0$):

$$\Delta L_{макс}=v_{кон}\sqrt{l/g}. \qquad (8\text{-}44)$$

Минимальное отклонение имеет место при $v_{нач}=0,5v_{кон}$:

$$\Delta L_{мин}=0,71\,v_{кон}\sqrt{l/g}. \qquad (8\text{-}45)$$

Таким образом, амплитуда раскачивания зависит в основном от приращения скорости, и наиболее простым способом ее уменьшения является снижение абсолютного значения скорости или увеличение числа ступеней разгона и торможения. Следует отметить, что на раскачивание практически не влияет снижение пускового или тормозного момента, так как время, в течение которого происходит ускорение точки подвеса, в большинстве случаев не может быть доведено до полупериода раскачивания груза. Наиболее простым способом гашения раскачивания груза в разомкнутых системах управления является обеспечение приращения скорости через интервал времени $T/2$. Для этого процесс разгона или торможения разбивается на четное число ступеней и на каждой ступени обеспечивается посредством реле времени задержка, равная указанному интервалу.

При таком способе к концу переходного режима процесс раскачивания ликвидируется. Однако, поскольку период колебаний зависит от высоты точки подвеса, полностью избежать раскачивания груза не удается. Кроме того, если уже раскачивание началось, то ликвидировать его таким способом невозможно. В замкнутых системах регулирования затухание процесса раскачивания груза достигается применением различных обратных связей, однако необходимость специальных датчиков значительно усложняет систему электропривода. Следует также отметить, что раскачка приводит к колебаниям нагрузки и к увеличению потерь в электроприводе.

Рассмотренные факторы: перегрузка механизмов, раскачивание груза, а также в некоторых случаях проскальзование колес определяют вышеприведенные ограничения на значения допустимых ускорений.

8-2. ЭНЕРГЕТИКА КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ

а) Потери энергии в крановых электроприводах

Особенностью энергетики крановых электроприводов является необходимость учета потерь энергии, выделяемых в системе при пусках и торможениях, и составляющих значительную долю в общем балансе потерь электропривода. Другой особенностью являются повышенные в крановых двигателях по сравнению с двигателями продолжительного режима постоянные потери.

Потери $A_{сум}$, выделяемые в электроприводе, можно разделить на постоянные потери $A_{пост}$, переменные потери, обусловленные разгоном и торможением маховых масс $A_д$ (динамические) и переменные потери, определяемые статической нагрузкой и временем цикла $A_с$ (статические), т. е.

$$A_{сум} = A_{пост} + A_д + A_с. \qquad (8\text{-}46)$$

Рассмотрим, как определяются потери для различных крановых электроприводов.

Крановые электроприводы переменного тока с параметрическим регулированием. Потери энергии в роторе асинхронного двигателя за один пуск под нагрузкой равны:

$$A = -\frac{GD^2 n_с^2}{365} \int_1^{s_с} \frac{Ms\, ds}{M - M_{ст}} \qquad (8\text{-}47)$$

или

$$A = \frac{GD^2}{365} \frac{n_с^2}{2} \left(1 - s_с^2\right) + \frac{GD^2 n_с^2}{365} \int_1^{s_с} \frac{M_{ст}(s - s_с)\, ds}{M - M_{ст}} + $$

$$+ \frac{1}{9{,}55} n_с M_{ст} s_с t_п. \qquad (8\text{-}48)$$

При этом первая составляющая представляет собой динамические потери энергии $A_{д0}$ при разгоне маховых масс системы вхолостую до $n_с$; вторая — дополнительные динамические потери из-за наличия статической нагрузки и третья составляющая — статические потери.

В (8-47) и (8-48) $s_с$ — скольжение двигателя, соответствующее статическому моменту на естественной характеристике. Сумма первой и второй составляющих равна динамическим потерям в приводе за один пуск и может быть представлена выражением

$$A_д = k_д \frac{GD^2}{365} \frac{n_с^2}{2} \left(1 - s_с^2\right) = k_д A_{д0}, \qquad (8\text{-}49)$$

где $k_д$ — отношение динамических потерь под нагрузкой к динамическим потерям на холостом ходу. Значение $k_д$ зависит от механических характеристик привода и момента статической нагрузки.

Мощность потерь в меди статора $\Delta P_{э1}$ асинхронной машины связаны с потерями в роторе $\Delta P_{э2}$ соотношением

$$\Delta P_{э1} = \Delta P_{э2} k_{пр} + \Delta P_{э0}, \qquad (8\text{-}50)$$

где

$$k_{пр} = \frac{r_1}{r_2'} \left(1 + 2\frac{I_0}{D_к}\right). \qquad (8\text{-}51)$$

$k_{пр}$ — коэффициент приведения потерь, который для коротко замкнутых машин в системах параметрического регулирования определяется только параметрами машины, а для двигателей с фазным ротором соотношениями между сопротивлениями цепей ротора и статора машины и, следовательно, механическими характеристиками электропривода: I_0 и $D_к$ — ток холостого хода и диаметр круговой диаграммы асинхронного двигателя; $\Delta P_{э0}$ — потери в обмотке статора от тока намагничивания, которые являются одной из составляющих постоянных потерь $\Delta P_{пост}$:

$$\Delta P_{пост} = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{доб} + \Delta P_{э0}; \qquad (8\text{-}52)$$

здесь $\Delta P_{ст}$, $\Delta P_{мех}$ и $\Delta P_{доб}$ — соответственно потери в стали, механические и добавочные.

Заменяя значения отдельных составляющих потерь энергии в выражении (8-46), можно на основании соотношений (8-48), (8-49) и (8-51) написать следующую зависимость для расчета суммарных потерь в электроприводах с параметрическим регулированием асинхронных двигателей в грузовом цикле:

$$A_\Sigma = \Delta P_{пост} \varepsilon t_ц + \Sigma \frac{M_{ст} s_с n_с}{9{,}55} t_{ст} k_{пр.ст} + $$

$$+ A_{д0} z \Sigma k_д k_{пр.д}, \qquad (8\text{-}53)$$

где $t_ц$ и $t_{ст}$ — соответственно время цикла и время работы электропривода с различными моментами статической нагрузки $M_{ст}$ на отдельных участках грузового цикла; $k_{пр.ст}$ и $k_{пр.д}$ — коэффициенты приведения потерь в статических и динамических режимах, соответствующие моменту $M_{ст}$; $k_д$ — коэффициент динамических потерь, соответствующий моменту $M_{ст}$; ε и z — относительная продолжительность включения и число включений электропривода в грузовом цикле.

Выражение (8-53) может быть приведено к виду

$$A_\Sigma = \left(\Delta P_{пост} + \frac{M_{экв.ст} s_{экв} n_с}{9{,}55} k_{пр.экв} + \frac{A_д}{t_ц \varepsilon}\right) t_ц \varepsilon, \qquad (8\text{-}54)$$

где $M_{экв.ст}$ — эквивалентный момент статической нагрузки.

Для электроприводов с многоскоростными двигателями при m-ступенчатом пуске и торможении динамические потери значительно снижаются и определяются следующим выражением:

$$A_д = A_{д0} \left[\left(\frac{n_{с1}}{n_с}\right)^2 k_{д.п1} + \left(\frac{n_{с2} - n_{с1}}{n_с}\right)^2 k_{д.п2} + \right.$$

$$+\dots+\left(\frac{n_{c\,m-1}-n_{c\,m-2}}{n_c}\right)^2 k_{д.пm-1}+$$
$$+\left(\frac{n_c-n_{c\,m-1}}{n_c}\right)^2 k_{д.по}+\left(\frac{n_c-n_{c\,m-1}}{n_c}\right)^2 k_{д.т\,m-1}+$$
$$+\dots+\left(\frac{n_{c2}-n_{c1}}{n_c}\right)^2 k_{д.т1}\Bigg], \qquad (8\text{-}55)$$

где n_c, n_{c1}, $n_{c\,m-1}$ — синхронные частоты вращения на быстроходной и других обмотках двигателей; $k_{д.п1}$, ..., $k_{д.пm-1}$, $k_{д.по}$, $k_{д.тm-1}$, ..., $k_{д.т1}$ — коэффициенты динамических потерь на соответствующих обмотках двигателя при пусках и торможениях.

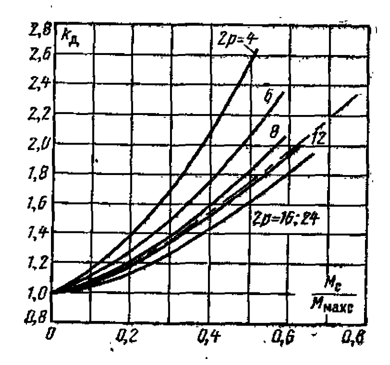


Рис. 8-7. Зависимости коэффициентом динамических потерь для электроприводов при параметрическом регулировании.

——— — асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором;
—·—·— — асинхронный двигатель с фазным ротором.

Для выполнения расчетов по (8-54) и (8-55) на рис. 8-7 приведены зависимости $k_д=f(M_{ст}/M_{макс})$, причем для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором $M_{макс}=M_к$, а для асинхронных двигателей с фазным ротором за $M_{макс}$ следует принимать максимальный момент пусковой или тормозной диаграмм переходного режима.

Значение $k_{пр.ст}$ для короткозамкнутых машин рассчитывается по параметрам схемы замещения в соответствии с (8-51), так же рассчитываются значения $k_{пр.ст}$ для двигателей с фазным ротором. Однако вместо r_2'' следует принимать R_2'' с учетом регулировочных сопротивлений в цепях ротора. Значения коэффициента $k_{пр.д}$ определяются сопротивлениями в роторе в пускотормозных режимах и, следовательно, механическими характеристиками электропривода, являясь функцией максимального момента и числа пускотормозных ступеней. Значения $k_{пр.д}/k_{пр.ст}=f(M_{макс})$ при различном числе ступеней приведены на рис. 8-8.

Частотно-регулируемые электроприводы. При частотном регулировании для механизмов с постоянным моментом статической нагрузки (к каким относятся крановые механизмы) в переходных режимах оптимальным является управление с поддержанием постоянного абсолютного скольжения. Момент двигателя при таком управлении постоянен, он меньше, чем удвоенный момент статической нагрузки, а частота вращения, частота и напряжение питания изменяются во времени по линейному закону. Момент двигателя в переходном режиме при этом равен:

$$M_{макс}=M_c+J\omega_{с.н}\xi, \qquad (8\text{-}56)$$

где $\xi=d\alpha/dt$ — относительное ускорение поля двигателя; J — момент инерции привода, приведенный к валу двигателя.

Потери энергии в роторе двигателя в переходном режиме составляют:

$$A=\frac{GD^2}{365}n_{с.н}^2=M_{макс}\,\beta_{макс}\frac{\alpha_{кон}-\alpha_{нач}}{M_{макс}-M_{ст}}, \qquad (8\text{-}57)$$

где $\beta_{макс}$ — параметр абсолютного скольжения, соответствующий $M_{макс}$ по механическим характеристикам электропривода; $\alpha_{кон}$ и $\alpha_{нач}$ — значения конечной и начальной относительной частот питающего напряжения; $n_{с.н}$ — синхронная частота вращения, соответствующая $\alpha_н=1$.

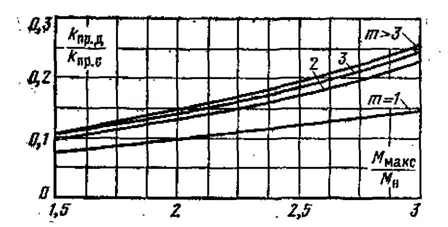


Рис. 8-8. Зависимости $k_{пр.д}/k_{пр.с}$ для электроприводов с асинхронными двигателями с фазным ротором.

Как и при параметрическом регулировании, потери в роторе двигателя в переходном режиме могут быть разделены на потери динамических режимов (разгона или торможения маховых масс) системы:

$$A_д=\frac{CD^2n_{с.н}^2(\alpha_{кон}-\alpha_{нач})}{365\cdot 2}\beta_{ст.н}k_д \qquad (8\text{-}58)$$

и статические потери за время переходного режима

$$A_{ст.пер}=\frac{1}{9{,}55}n_c M_{ст}\beta_{ст}t_п. \qquad (8\text{-}59)$$

Выражение (8-58) при $k_д=1$ определяет потери в роторе двигателя при его разгоне или торможении без нагрузки с постоянным и равным по значению номинальному динамическим моментом. Коэффициент $k_д$ определяет дополнительные динамические потери из-за наличия статической нагрузки и может быть рассчитан по выражению

$$k_д=\frac{M_{макс*}(\beta_{макс}/\beta_н)-M_{ст*}(\beta_{ст}/\beta_н)}{M_{макс*}-M_{ст*}}, \qquad (8\text{-}60)$$

которое можно представить в виде

$$k_д=\lambda_{макс}\left(1+\frac{M_{ст*}}{M_*}\right), \qquad (8\text{-}61)$$

где $\lambda_{макс}=M_{макс}/M_н$.

Графически выражение (8-61) показано на рис. 8-9.

Расчет суммарных потерь за цикл в системе частотного регулирования выполняется по формуле, аналогичной (8-54):

$$A_\varepsilon=\left[\Delta P_{пост}+\frac{M_{экв.ст}\beta_{экв}n_{с.н}}{9{,}55}k_{пр.экв}+\right.$$
$$\left.+\frac{A_д}{t_ц\varepsilon}\right]t_ц\varepsilon, \qquad (8\text{-}62)$$

при этом коэффициент $k_{пр}$ определяется в соответствии с (8-51).

Термин «постоянные потери» для частотно-регулируемых двигателей означает, что эти потери не зависят от нагрузки, однако они не являются постоянными в прямом смысле, поскольку меняется частота питающего напряжения и, кроме того, при оптимальном управлении

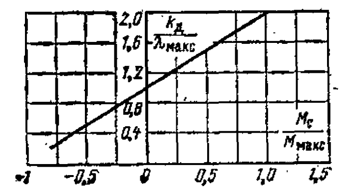


Рис. 8-9. Зависимость коэффициентом динамических потерь для асинхронных двигателей в системе частотного регулирования.

производится регулирование потока. Мощность потерь в стали при частотном регулировании рассчитывается по выражению

$$\Delta P_{\text{ст}} = \frac{M n_{\text{с.н}}}{9{,}55} \frac{k_{\text{ст}}\, \alpha^{1,3}}{m_1 c_1^2 f_{1\text{н}}} \left[\frac{x_2'}{r_2'} \beta + \frac{r_2'}{\beta} \right], \quad (8\text{-}63)$$

где $k_{\text{ст}}$ — постоянный коэффициент потерь в стали.

Электроприводы постоянного тока. Потери в электроприводе постоянного тока в переходном режиме определяются выражением

$$A = T_{\text{м}} R_{\text{экв}} I_{\text{н}}^2 \int\limits_{\omega_{\text{нач}*}}^{\omega_{\text{кон}*}} \frac{M_*^2 f^2 (M_* \omega_*)\, d\omega_*}{M_* - M_{\text{ст}*}}, \quad (8\text{-}64)$$

где $\omega_{\text{нач}*}$, $\omega_{\text{кон}*}$ — начальная и конечные относительные скорости разгона (торможения) электродвигателя; $M_* = M/M_{\text{н}}$, $M_{\text{ст}*} = M_c/M_{\text{н}}$, $\omega_* = \omega/\omega_{\text{н}}$, $f(M_*, \omega_*)$ — функция, обратно пропорциональная потоку машины при заданных значениях момента, скорости и известной схеме подключения двигателя; $R_{\text{экв}}$ — эквивалентное активное сопротивление, зависит от схемы электропривода. При управлении от преобразователя $R_{\text{экв}}$ равно сумме внутренних сопротивлений двигателя и источника питания.

Как и для электроприводов переменного тока, потери переходных режимов могут быть разделены на динамические потери разгона маховых масс системы и статическую составляющую потерь. При этом динамические потери определяются выражением

$$A_{\text{д}} = T_{\text{м}} I_{\text{н}}^2 R_{\text{экв}} k_{\text{д}}, \quad (8\text{-}65)$$

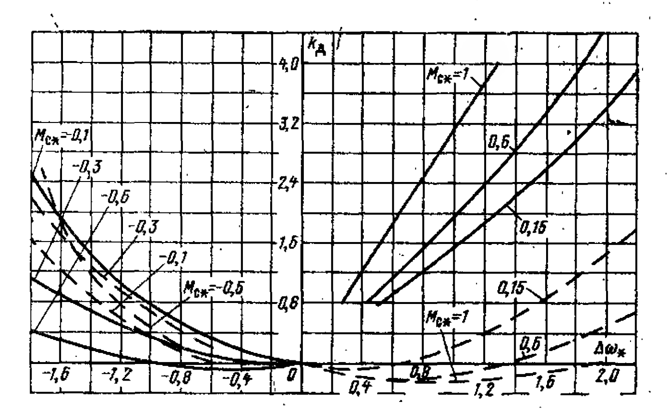


Рис. 8-10. Зависимость коэффициентов динамических потерь для электроприводов постоянного тока.
——— — разгон; — — — — торможение.

а потери, вызванные статической нагрузкой в грузовом цикле, могут быть рассчитаны следующим образом:

$$A_{\text{ст}} = I_{\text{н}}^2 R_{\text{экв.ст}} M_{\text{экв.ст}*} f_{\text{экв.ст}} (M_*, \omega_*)\, \varepsilon t_{\text{ц}}, \quad (8\text{-}66)$$

где $M_{\text{экв.ст}*}$ — эквивалентный момент статической нагрузки; $f_{\text{экв.ст}}(M_* \omega_*)$ соответствует $M_{\text{экв.ст}*}$; $R_{\text{экв.ст}}$ — сопротивление на характеристике статического режима.

Коэффициент $k_{\text{д}}$ зависит от момента нагрузки, формы механических характеристик электропривода и пределов изменения скорости. Графики зависимостей $k_{\text{д}} = f(\Delta\omega_*, M_{\text{ст}*})$ для различных состояний электропривода, рассчитанные по типовым механическим характеристикам, приведены на рис. 8-10.

Общие потери определяются зависимостью (8-46).

б) Эквивалентный к. п. д. крановых электроприводов

Энергетические свойства кранового электропривода характеризуются эквивалентным к. п. д. $\eta_{\text{экв}}$, определяемым как отношение полезной работы перемещения груза к потребляемой электроприводом энергии за цикл или за определенный промежуток времени.

При условии полного использования двигателя и при выборе в качестве расчетного промежутка времени 1 ч $\eta_{\text{экв}}$ определяется выражением

$$\eta_{\text{экв}} = \frac{3600 \varepsilon_{\text{н}} P_{\text{дв.н}}}{3600 \varepsilon_{\text{н}} P_{\text{дв.н}} + A_{\Sigma}}, \quad (8\text{-}67)$$

где $P_{\text{дв.н}}$ — номинальная мощность двигателя при номинальной относительной продолжительности включения $\varepsilon_{\text{н}}$; A_{Σ} — суммарные потери энергии в электроприводе.

Путем расчета отдельных составляющих потерь в статике, динамике и при регулировании в соответствии с методами, рассмотренными в предыдущем разделе, и при условии, что относительная продолжительность включения кранового механизма ε_0 соответствует указанному выше значению $\varepsilon_{\text{н}}$ двигателя при расчете составляющей постоянных потерь, выражение для $\eta_{\text{экв}}$ преобразовывается к виду

$$\eta_{\text{экв}} = 1/(a + bz); \quad (8\text{-}68)$$

здесь $a = 1/\eta_{\text{экв.б}}$ — относительные потери (по отношению к $P_{\text{н.дв}}$) в статических режимах при номинальных скоростях и регулировании, определяемые эквивалентной нагрузкой двигателя и соотношениями между продолжительностями включения: общей ε_0 и при регулировании $\varepsilon_{\text{р}}$; $\eta_{\text{экв.б}}$ — к. п. д. привода при числе включений $z = 0$; bz — относительные потери в системе в пускотормозных режимах; z — число включений в час.

Для a и b справедливы следующие соотношения:

$$a = 1 + q\varepsilon_{\text{р}}/\varepsilon_{\text{н}} + m(1 - \varepsilon_{\text{р}}/\varepsilon_{\text{н}}); \quad (8\text{-}69')$$

$$b = (k - m t_{\text{д}})/3600 \varepsilon_{\text{н}}, \quad (8\text{-}70)$$

где m и q — соответственно отношение мощности потерь в электроприводе в режимах номинальных скоростей и регулирования к номинальной мощности двигателя, учитывающие эквивалентную нагрузку привода; k — эквивалентный коэффициент потерь в системе при пусках и торможениях, отнесенный к одному включению, $t_{\text{д}}$ — время пускотормозных режимов, приведенное к одному включению.

Согласно (8-68) $\eta_{\text{экв}}$ не зависит от продолжительности включения привода ε_0, что является следствием принятого выше допущения равенства $\varepsilon_0 = \varepsilon_{\text{н}}$ при учете составляющей постоянных потерь. В общем случае указанное равенство не выполняется. Тем самым $\eta_{\text{экв}}$ не учитывает зависимость постоянных потерь от продолжительности включения: действительное значение $\eta_{\text{экв}}$ ниже расчетной при $\varepsilon_0 > \varepsilon_{\text{н}}$ и выше при $\varepsilon_0 < \varepsilon_{\text{н}}$. Это необходимо иметь в виду при расчетах с использованием $\eta_{\text{экв}}$

(см. § 8-3). Эквивалентный к. п. д. зависит от $\varepsilon_р$ в случае неравенства потерь при регулировании потерям на естественных характеристиках привода $q \neq m$. Зависимость $\eta_{экв}$ от $\varepsilon_р$ представляет собой прямую линию, наклон которой определяется соотношением между указанными потерями. При равенстве указанных потерь $q=m$ и $\eta_{экв}$ не зависит от $\varepsilon_р$. Значения a и b, а следовательно, и $\eta_{экв}$ полностью определяются структурой кранового электропривода и применяемыми при этом методами регулирования. Зависимости $\eta_{экв}$ от числа включений и приведенных к валу двигателя маховых масс систем

$$\eta_{экв} = f\left(z \frac{GD^2_\Sigma}{1,2\,GD^2_{дв}}\right)$$

при базовом значении $\varepsilon_р = 0,05$ для основных типов применяемых крановых систем электропривода приведены на рис. 8-11.

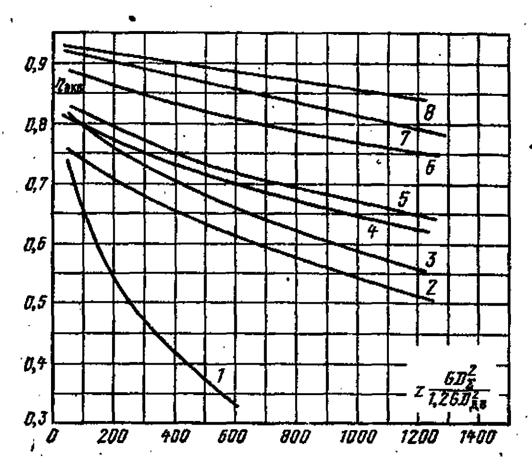


Рис. 8-11. Графики $\eta_{экв}=f\left(z \frac{GD^2_\Sigma}{1,2GD^2_{дв}}\right)$ для различных электроприводов.

1 — с двухскоростными короткозамкнутыми двигателями при $2p=4/24$; 2 — с параметрическим регулированием двигателей с фазным ротором при наличии торможения противовключением; 3 — с трехскоростными короткозамкнутыми двигателями при $2p=4/8/24$; 4 — с параметрическим регулированием двигателей с фазным ротором при динамическом торможении; с параметрическим регулированием двигателей постоянного тока; с односкоростными короткозамкнутыми двигателями при $2p=6$; 5 — с трехскоростными короткозамкнутыми двигателями при $2p=6/12/24$; 6 — с регулированием двухскоростных короткозамкнутых двигателей при наличии зоны частотного регулирования для $2p=4/6$; 7 — с тиристорным электроприводом постоянного тока; 8 — с частотным регулированием односкоростными короткозамкнутыми двигателями.

Характеризуя потери в электроприводе, эквивалентный к. п. д. позволяет дать количественную оценку энергетических свойств крановых электроприводов. Зависимости $\eta_{экв} = f\left(z \frac{GD^2_\Sigma}{1,2GD^2_{дв}}\right)$ показывают:

1. Эквивалентный к. п. д. наиболее массовых электроприводов с параметрическим регулированием сопротивления в цепи ротора асинхронных двигателей с фазным ротором и тормозными режимами противовключения находится на весьма низком уровне, составляя 60—65% для режима работы С (режимы работы см. § 8-3) и снижаясь до 45—55% для систем режима работы Т.

2. Улучшения энергетических свойств электроприводов с параметрическим регулированием можно добиться формированием тормозных режимов при использовании регулируемого динамического торможения, что позволяет увеличить эквивалентный к. п. д. на 10—12%.

3. Наиболее высокие энергетические показатели имеют системы с преобразователями энергии и особенно частотно-регулируемые электроприводы с односкоростными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Благодаря оптимальному регулированию в статических и динамических режимах и снижению маховых масс приводного двигателя такие системы имеют к. п. д. 0,9—0,85 во всех практически используемых режимах кранового электропривода.

Эквивалентный к. п. д. кранового электропривода наряду с обеспечиваемой им производительностью механизма является основным показателем эффективности использования крановых систем.

в) Производительность крановых механизмов. Определение параметров крановых механизмов на основе оптимизации энергетических и регулировочных свойств электропривода

Производительность кранового механизма определяется максимально возможным числом операций, выполняемых механизмом в единицу времени. Производительность принято выражать числом циклов в час. При заданной технологии выполнения грузовых работ и известной траектории перемещения груза число циклов в час полностью определяется средней скоростью $v_{ср}$ перемещения груза и равно:

$$N = \frac{3600}{L/v_{ср} + t_{пауз}}, \tag{8-71}$$

где L — длина пути, проходимого крюком за цикл; $t_{пауз}$ — время пауз.

Средняя скорость зависит от ряда параметров, основными из которых являются максимальная скорость механизма (номинальная скорость), плавность регулирования (число промежуточных скоростей), длительность протекания переходных режимов и число включений привода за цикл, а также время работы привода на промежуточных скоростях. В свою очередь число включений привода в цикле $z_п$ до полной скорости также определяется технологическими факторами и регулировочными свойствами электропривода, диапазоном и плавностью регулирования, жесткостью механических характеристик.

Таким образом, при известной технологии отношение средней скорости перемещения к номинальной является показателем регулировочных свойств электропривода. Расчет значений $z_п$ и $v_{ср}$ может быть выполнен по эмпирическим формулам, полученным на основании обработки статистических данных работы крановых механизмов. Число пусков

$$z_п = z_т + \frac{60\sqrt[3]{\frac{\Delta v}{v_н}}\, v_н\left(2,8v_н - \sqrt[3]{H}\right)}{H^{3/2}} + 1 + 0,02\sqrt[3]{\frac{\Delta v}{v_н}}\,\beta; \tag{8-72}$$

средняя скорость

$$v_{ср} = \frac{v_н}{\frac{1}{k_т}\frac{\Delta v}{3v_н} + \frac{z_п t_п v_н}{H}\left(1 - 0,25\sqrt{\frac{v_н}{\Delta v}\frac{1}{k_т}}\right)}, \tag{8-73}$$

где $\Delta v/v_н$ — максимальный относительный перепад скорости между двумя соседними механическими характеристиками электропривода (показатель статической плав-

ности регулирования); H — путь перемещения груза в составе грузовой траектории; $z_т$ — число технологических включений привода в цикле; третий член в формуле (8-72) определяет число включений привода в процессе доводочных операций, пересчитанное по эквивалентному времени переходных режимов к включению до полной скорости; β — жесткость доводочной механической характеристики, %; $t_д$ — длительность протекания переходных режимов, приведенная к одному включению; $k_т$ — коэффициент, характеризуемый технологическими особенностями выполнения грузовых операций.

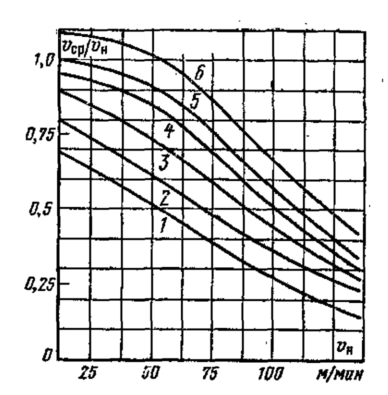


Рис. 8-12. Зависимости $v_{ср}/v_н = f(v_н)$.

1 — контакторно-контроллерные системы параметрического регулирования при торможении противовключением; *2* — системы с трехскоростными двигателями; *3* — контакторно-контроллерные системы параметрического регулирования при динамическом торможении; *4* — системы с двухскоростными двигателями и частотным регулированием скорости в зоне до $0{,}4n_{ном}$; *5* — фазо-импульсное регулирование; *6* — тиристорные электроприводы постоянного тока и асинхронные с частотным управлением.

На рис. 8-12 приведены графики $v_{ср}/v_н = f(v_н)$, рассчитанные для производительных крановых перегрузочных механизмов. Эти зависимости наглядно иллюстрируют влияние регулировочных свойств системы электропривода на практически реализуемые скоростные параметры кранового механизма. Чем хуже регулировочные свойства электропривода, тем большим является влияние переходных режимов на время грузового цикла из-за увеличения числа включений. Вследствие этого рост производительности с увеличением скорости механизма замедляется. В то же время пропорционально скорости увеличиваются мощность и маховой момент двигателя. Увеличение момента инерции и общее увеличение числа включений ведет к резкому повышению динамических потерь в системе, поэтому показателем эффективности крановых электроприводов является обеспечение максимума производительности при минимальных затратах энергии. Такая постановка задачи приводит к определению максимума функциональных зависимостей

$$N\eta_{экв} = f(v_н), \qquad (8\text{-}74)$$

которые могут быть рассчитаны совместным решением (8-68) для $\eta_{экв}$ и (8-71) — (8-73) для числа циклов, средней скорости и числа включений.

Вопрос выбора оптимальных по критерию максимальной эффективности скоростей крановых механизмов рассматривался в разд. 1, где на рис. 1-1 приведены графические зависимости, рассчитанные в соответствии с изложенными методами по (8-74). Определение оптимальных параметров крановых механизмов можно рассмотреть также с позиций реализации установленной мощности электропривода. Умножив обе части (8-74) на номинальную грузоподъемность для механизма подъема или на статическую нагрузку $Q_{ст.н}$ для механизма передвижения, получим:

$$P_{пол} = f(P_{ст.н}), \qquad (8\text{-}75)$$

где $P_{пол} = \eta_{экв} v_{ср} Q_{ст.н}$; $P_{ст.н} \approx v_н Q_{ст.н}$.

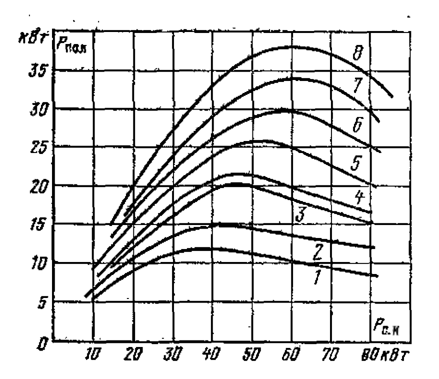


Рис. 8-13. Зависимости $P_{пол} = f(P_{ст.н})$.

1 — контакторно-контроллерные системы параметрического регулирования при торможении противовключением; *2* — системы с трехскоростными двигателями; *3* — контакторно-контроллерные системы параметрического регулирования при динамическом торможении; *4* — фазовое регулирование; *5* — импульсное регулирование; *6* — системы с двухскоростными двигателями и частотным регулированием скорости в зоне до $0{,}4n_{ном}$; *7* — электропривод постоянного тока с ТП; *8* — частотное регулирование односкоростными короткозамкнутыми двигателями.

В результате оптимальная с точки зрения получения максимальной производительности при минимальных потерях энергии скорость грузового механизма определится по значению установочной мощности электропривода, при которой реализуемая мощность достигает максимума.

Зависимости $P_{пол} = f(P_{ст.н})$, рассчитанные для крановых перегрузочных механизмов с различными системами электропривода, приведены на рис. 8-13.

Характеристики $P_{пол} = f(P_{ст.н})$ могут рассматриваться как обобщенный критерий сравнения крановых электроприводов при их выборе для конкретных типов крановых механизмов. Эти характеристики показывают, что увеличение эффективности использования крановых систем возможно только на основе улучшения энергетических и регулировочных свойств электроприводов.

8-3. ВЫБОР КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

а) Режимы работы крановых электроприводов

Для подавляющего большинства крановых механизмов условия работы не могут быть заранее заданы. Условия, определяющие выбор всех элементов конструкции крана, в том числе и его электрооборудования, объединяются понятием режима работы. В это понятие входят: полная продолжительность включения, продолжительность включения при регулировании, число пусков, коэффициент усредненной статической нагрузки, а также такие показатели, как годовое и суточное использование крана, степень его ответственности, температурные условия эксплуатации и другие параметры. Все многообразие режимов работы крановых механизмов сводится к

пяти режимам: к легкому — Л, среднему — С, тяжелому — Т, весьма тяжелому — ВТ и особо тяжелому — ОТ (см. разд. 1).

Однако не все из вышеперечисленных параметров в равной мере определяют выбор кранового электрооборудования: одни из них должны непосредственно учитываться в расчетах, другие необходимо учитывать лишь при определении соответствующих запасов прочности. Более того, не все из параметров, непосредственно определяющих расчет конструктивных узлов крана, в равной степени относятся к расчету его электропривода. Для расчета кранового электрооборудования исходными являются следующие параметры:

полная относительная продолжительность включения электропривода ε_0, определяемая как отношение времени включения электропривода ко всему времени рабочего цикла:

$$\varepsilon_0 = t_{\text{вкл}}/t_{\text{ц}} = \text{ПВ}_0/100; \qquad (8\text{-}76)$$

относительная продолжительность включения при регулировании

$$\varepsilon_{\text{р}} = t_{\text{р}}/t_{\text{ц}} = \text{ПВ}_{\text{р}}/100. \qquad (8\text{-}77)$$

Эквивалентное за единицу времени (час) число z включений двигателя определяется как число включений электродвигателя до полной скорости, эквивалентное по нагреву реальному числу включений под нагрузкой $M_{\text{ст.экв}} = k_{\text{экв}} M_{\text{ст.н}}$, где коэффициент эквивалентной статической нагрузки $k_{\text{экв}}$ представляет собой отношение среднеэквивалентного момента статической нагрузки к номинальному.

Значения указанных параметров, нормализованные в соответствии с разделением режимов работы по действующим нормативным документам, а также определяемые ими расчетные коэффициенты, необходимые для выбора исполнительного двигателя, приводятся в § 8-3, б.

Основой выбора режима работы крана и его электрооборудования является квалифицированный, базирующийся на вероятностно-статистических данных учет всех особенностей эксплуатации отдельных групп крановых механизмов и их назначения в общем технологическом процессе производства.

Отнесение электрооборудования крана к тому или иному режиму работы является исходным при расчете всех элементов кранового электропривода, а соответствие указанного режима фактическому — непременное условие надежной работы крана. Последующей задачей является расчет и выбор электрооборудования по ожидаемому режиму работы.

б) Выбор двигателей крановых механизмов по методу завода «Динамо»

При выборе двигателей для крановых электроприводов наиболее сложным является расчет их мощности по условиям теплового режима. Вследствие неопределенности режима работы специфические особенности крановых машин, как машин закрытого исполнения, характеризуемых повышенными постоянными потерями и изменением условий вентиляции при регулировании, приводят к большим погрешностям при расчете теплового режима двигателя по общепринятым методам эквивалентного тока или момента. Эти методы являются достоверными только тогда, когда фактическая продолжительность включения равна номинальной, а число включений и энергия постоянных потерь в цикле соответствует номинальным расчетным параметрам. Постоянные потери непосредственно определяются продолжительностью включения, и их учет особенно важен для закрытых необдуваемых машин, поскольку для вентилируемых машин при увеличении продолжительности включения одновременно с ростом постоянных потерь улучшаются условия охлаждения. Анализ данных закрытых необдуваемых электродвигателей показывает, что при увеличении продолжительности включения в 2 раза по отношению к номинальной (40%) мощность машины снижается в 2,5—5 раз, тогда как расчет по среднеквадратичному току показывает снижение мощности только в $\sqrt{2}$ раза.

Ниже излагается разработанный на заводе «Динамо» метод выбора мощности крановых электродвигателей, учитывающий, с одной стороны, параметры режима работы крановых систем, а с другой — энергетические свойства конкретных систем регулирования [66]. Последнее очень важно в связи с широким применением новых типов крановых электроприводов, имеющих существенно отличные от традиционных энергетические показатели.

В основе метода лежит использование эквивалентного к. п. д., являющегося, как показано ранее, показателем энергетических свойств системы регулирования и определяющего потери энергии в электроприводе. Графики зависимостей $\eta_{\text{экв}} = f\left(z\dfrac{GD^2_{\Sigma}}{1,2\,GD^2_{\text{дв}}}\right)$ приведены на рис. 8-11. При значениях $z\dfrac{GD^2_{\Sigma}}{1,2GD^2_{\text{дв}}}$, больше указанных при построении графиков $\eta_{\text{экв}}$ рассчитывается по формуле

$$\eta_{\text{экв}} = \frac{\eta_{\text{экв.б}}}{1 + \dfrac{(\eta_{\text{экв.б}} - \eta_{\text{экв}})\,GD^2_{\Sigma}}{\eta_{\text{экв}} \cdot 1,2GD^2_{\text{дв}}}}. \qquad (8\text{-}78)$$

Поскольку при параметрическом регулировании эквивалентный к. п. д. определяет динамические потери энергии не только в двигателе, но и в пускорегулирующих сопротивлениях и, кроме того, значение к. п. д. определяется при базисных значениях относительных продолжительностей включения — полной $\varepsilon_0 = \varepsilon_{\text{н}}$ и при регулировании $\varepsilon_{\text{р}}$, то расчетная формула выбора двигателей должна учитывать указанные факторы. Наиболее сложной задачей является учет изменения соотношений между постоянными и переменными потерями и условий вентиляции при $\varepsilon_0 \neq \varepsilon_{\text{н}}$. Ее решение в общем случае не представляется возможным, так как указанные факторы зависят не только от параметров режима работы, но и от конструктивных особенностей двигателей. Поэтому их учет целесообразно осуществлять посредством экспериментально полученных зависимостей коэффициента k_0, определяющего изменение допустимой мощности потерь в функции фактической продолжительности включения ε_0. Зависимости $k_0 = f(\varepsilon_0)$ приведены на рис. 8-14.

Для электродвигателей постоянного тока необходимо учесть также зависимость постоянных потерь двигателя от питающего напряжения в системах управления с преобразователями. Эта зависимость в соответствии с экспериментальными данными может быть учтена посредством коэффициента $k_{\text{н}} = \sqrt{\dfrac{U_{\text{н}} + U}{U_{\text{н}}(1+\varepsilon_0/\varepsilon_{\text{н}})}}$.

Степень влияния динамических потерь на нагрев машины учитывается коэффициентом $k_{\text{д.п}}$. Значения $k_{\text{д.п}}$ могут быть найдены по отношению пусковой и номинальной мощностей и составляют $k_{\text{д.п}} = 4$ для систем с многоскоростными двигателями и $k_{\text{д.п}} = 1,25$ для остальных типов электроприводов.

Несоответствие базового значения продолжительности включения при регулировании $\varepsilon_{\text{р.б}}$ и действительно-

го $\varepsilon_р$ достаточно просто учитывается коэффициентом $k_р$, рассчитываемым по формуле

$$k_р = 1 - \frac{q_р - q_н}{q_н}(\varepsilon_р - \varepsilon_{р.б}), \quad (8\text{-}79)$$

где $q_н$ и $q_р$ — соответственно мощности потерь в номинальном режиме и при регулировании (см. § 8-2, *б*).

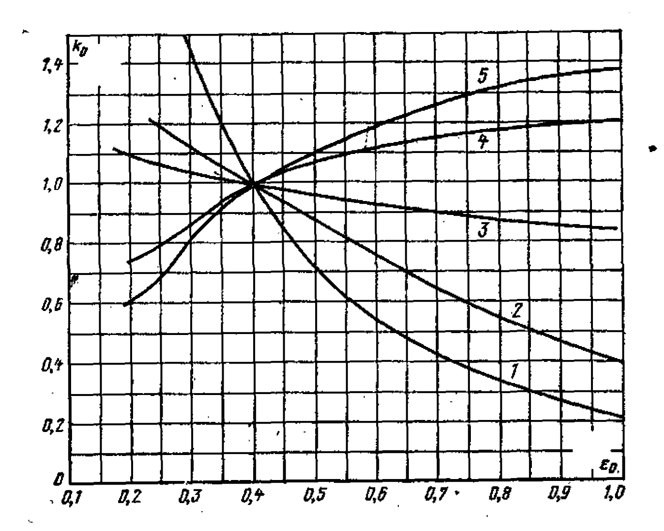


Рис. 8-14. Зависимости $k_0 = f(\varepsilon_0)$ для различных крановых двигателей.

1 — невентилируемые; *2* — для двигателей постоянного тока; *3* — вентилируемые тихоходные; *4* — вентилируемые быстроходные (серии MTF и MTH); *5* — вентилируемые быстроходные (серии МАП).

В случае равенства потерь $q_р = q_н$ $k_р = 1$. При неравенстве потерь в практических расчетах коэффициент $k_р$ можно рассчитать по выражению

$$k_р = 1 - 1{,}2(\varepsilon_р - \varepsilon_{р.б}). \quad (8\text{-}80)$$

С учетом вышеуказанного расчетная формула для определения мощности кранового двигателя по условиям теплового режима имеет вид:

$$P_{н.т} \geqslant \frac{k_{экв}\, k_з\, \eta_{экв.б} \sqrt{\varepsilon_0/\varepsilon_н}\, k_н\, P_{ст.н}}{k_р\, k_0 \left[\eta_{экв.б} - k_{д.п}\left(\eta_{экв.б} - \eta^*_{экв}\right)\right]}, \quad (8\text{-}81)$$

где $k_н$ определен выше для электроприводов постоянного тока и равен единице для электроприводов переменного тока; $k_з = 1 \div 1{,}35$ — коэффициент, учитывающий закладываемый запас при проектировании электропривода и определяемый требованиями к его надежности.

В табл. 8-3 приведены входящие в (8-81) значения параметров ε_0, $k_{экв}$, $\varepsilon_р$, $k_з$ и эквивалентного по тепловому режиму числа включений $z' = z\dfrac{GD^2_\Sigma}{1{,}2GD^2_{дв}}$, нормализованные в соответствии с принятым разделением режимов работы по степени напряженности. Заменяя множитель при $P_{ст.н}$ в (8-81) коэффициентом $k_т$, получаем выражение для определения мощности двигателя в виде

$$P_{н.т} \geqslant P_{ст.н}/k_т. \quad (8\text{-}82)$$

По нормализованным параметрам режимов и зависимостям (8-81) и (8-82) рассчитаны и приведены в табл. 8-4 значения коэффициентов $k_т$, определяющих выбор двигателей по тепловому режиму для всех практически применяемых систем электропривода. Коэффициенты $k_т$ приведены отдельно для механизмов подъема и передвижения со значениями $\dfrac{GD^2_\Sigma}{1{,}2GD^2_{дв}} < 2$ и 5 соответственно и механизмов передвижения со значениями $\dfrac{GD^2_\Sigma}{1{,}2GD^2_{дв}} > 5$.

Выбранный двигатель должен быть проверен по условиям обеспечения надежного пуска. Таким образом, выбор двигателя можно разделить на три этапа. На первом этапе производится предварительный выбор двигателя по (8-82) для принятой системы электропривода и известного режима работы. Исходными данными при этом являются значения статической мощности и параметры режима работы, определяющие по табл. 8-4 значения коэффициента $k_т$. На втором этапе выбранный двигатель проверяют по (8-81). Входящие в указанную формулу коэффициенты определяются параметрами режима работы и выбранной системой электропривода, а $\eta_{экв}$ рассчитывается по (8-78). Наконец, производится проверка выбранного двигателя на обеспечение пускового режима по зависимости

$$M_{макс} > k_{з.м}(M_{ст.макс} + M_д), \quad (8\text{-}83)$$

где $M_{ст.макс}$ — максимально возможный момент статической нагрузки, приведенный к валу двигателя; $M_д$ — динамический момент, определяемый из условия обеспечения необходимого ускорения; $M_{макс}$ — максимально допустимый момент двигателя; $k_{з.м}$ — коэффициент запаса по моменту: $k_{з.м} = 1{,}1 \div 1{,}2$.

Таблица 8-3

Значения расчетных коэффициентов в зависимости от предполагаемого режима работы и маховых масс механизмов

Режимы работы	Параметры режимов работы для механизмов: подъема при $GD^2_\Sigma/1{,}2\,GD^2_{дв} < 2$; передвижения и поворота при $GD^2_\Sigma/1{,}2\,GD^2_{дв} \leqslant 5$					передвижения и поворота при $GD^2_\Sigma/1{,}2\,GD^2_{дв} > 5$				
	ε_0	$k_{экв}$	$\varepsilon_р$	$k_з$	z^*	ε_0	$k_{экв}$	$\varepsilon_р$	$k_з$	z^*
Л	0,25	0,6	0,5	1	60	0,25	0,6	0,05	1	900
С	0,40	0,75	0,075	1	150	0,40	0,75	0,075	1	1500
Т	0,40	0,75	0,1	1	300—600	0,40	0,75	0,1	1	3000—4500
ВТ	0,60	0,8	0,125	1,15—1,25	600—1200	0,60	0,8	0,125	1,15—1,25	4500—6000
ОТ	>0,60	0,9	0,15	1,3—1,35	600—1200	>0,60	0,9	0,125	1,3—1,35	4500—6000

Таблица 8-4

Значения коэффициентов $k_т$ для выбора двигателей различных систем электропривода

Наименование	$\eta_{экв.б}$	$k_{д.п}$	Подъем при $GD^2_\Sigma/1,2\,GD^2_{дв}<2$; передвижение и поворот при $GD^2_\Sigma/1,2\,GD^2_{дв}\leq 5$ для режимов					Передвижение и поворот при $GD^2_\Sigma/1,2\,GD^2_{дв}>5$ для режимов				
			Л	С	Т	ВТ	ОТ	Л	С	Т	ВТ	ОТ
Двухскоростной двигатель при $2p=4/24$	0,83	4	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Трехскоростной двигатель при $2p=4/8/24$	0,83	4	1,3	0,95	0,55	0,2	—	—	—	—	—	—
Односкоростной двигатель при $2p=6$	0,83	4	1,35	1	0,65	0,3	—	0,2	—	—	—	—
Трехскоростной двигатель при $2p=6/12/24$	0,81	4	1,4	1,1	0,75	0,5	—	0,25	—	—	—	—
Двигатель с фазным ротором при торможении противовключением	0,76	1,25	1,45	1,2	0,95	0,75	0,45	0,75	0,65	0,35	0,2	0,1
Двигатель с фазным ротором при динамическом торможении	0,81	1,25	1,5	1,3	1,1	0,9	0,55	0,9	0,85	0,5	0,3	0,2
Двухскоростной двигатель при $2p=4/6$ с неполной зоной частотного регулирования	0,9	1,25	1,4	1,15	1	0,7	0,45	0,55	0,2	—	—	—
Односкоростной двигатель в системе частотного регулирования	0,94	1,25	1,45	1,3	1,15	1,05	0,7	1,15	1,1	0,85	0,7	0,45
Тиристорный электропривод постоянного тока	0,94	1,25	2	1,3	1,15	0,85	0,5	1,4	1	0,75	0,5	0,3
Электропривод постоянного тока с параметрическим регулированием	0,81	1,25	2	1,25	1,1	0,8	0,45	1,25	0,85	0,5	0,3	0,15

Если предварительно выбранный двигатель не удовлетворяет условиям (8-81) или (8-83), следует принять двигатель большей мощности и проводить повторную проверку правильности его выбора.

в) Примеры расчета

Для мостового крана типа 8ВТ-М режима работы ВТ выбрать двигатели механизмов подъема и передвижения моста. На кране применен электропривод с параметрическим регулированием сопротивления ротора асинхронного двигателя с фазным ротором и торможением противовключением.

1. *Выбор двигателя механизма подъема.* Данные механизма: грузоподъемность 8000 кг, масса подвески 230 кг, скорость подъема 18,8 м/мин, максимальная статическая мощность при подъеме груза $P_{ст}=27$ кВт, число включений $z=400$ вкл/ч, частота вращения вала двигателя 700—750 об/мин, маховой момент механизма и груза, приведенный к валу двигателя, 2,1 кг·м², ускорение груза $a=1,5$ м/с².

В соответствии с исходными данными по режиму работы и принятой системой электропривода из табл. 8-4 находим значение коэффициента $k_т=0,75$. Мощность для предварительного выбора двигателя составляет согласно формуле (8-82)

$$P_{н.т}>P_{ст}/k_т=28,7/0,75=36\ \text{кВт}.$$

Выбираем двигатель МТН 512-8, имеющий $P_н=37$ кВт; $ПВ_н=40\%$; $n_{дв.н}=705$ об/мин; $GD^2_{дв}=4,3$ кг·м².

Проверка двигателя на обеспечение теплового режима производится по (8-81). При этом согласно табл. 8-3 $\varepsilon_0=0,6$; $k_{экв}=0,8$; $k_3=1,15$; $\varepsilon_р=0,125$; значение $\eta_{экв.б}$ для принятой системы регулирования (см. табл. 8-4) составляет 0,76.

Эквивалентный к. п. д. определяем по графику на рис. 8-11 при

$$z\frac{GD^2_\Sigma}{1,2GD^2_{дв}}=400\,\frac{4,3+2,1}{1,2\cdot 4,3}\approx 500\quad \eta_{экв}=0,64.$$

Коэффициент $k_0=1,12$ при $\varepsilon_0=0,6$ согласно рис. 8-14; $k_р$ находим по (8-80)

$$k_р=1-1,2\,(0,125-0,05)=0,91.$$

Согласно (8-81) имеем:

$$P_{дв.т}\geq\frac{0,8\cdot 1,15\cdot 0,76\sqrt{0,6/0,4}\cdot 1}{0,91\cdot 1,12\,[0,76-1,25\,(0,76-0,64)]}\cdot 27=36,9\ \text{кВт}.$$

Условие выбора двигателя по тепловому режиму выполняется.

Проверим двигатель по условиям обеспечения пуска (8-83):

$$M_{макс}\geq 1,2\left(\frac{95,5\cdot 28,73}{705}+\frac{4,3+2,1}{38,2}\cdot\frac{705\cdot 60}{18,8}\cdot 1,5\right)=1169\ \text{Н·м}.$$

По каталогу $M_{макс}=1400$ Н·м, следовательно, двигатель удовлетворяет условиям пуска.

2. *Выбор двигателя механизма передвижения моста.* Данные механизма: $P_{ст}=5,79$ кВт; $z=300$ вкл/ч; $v=133$ м/мин; $n=900\div 950$ об/мин; $GD^2_{мех}=32,3$ кг·м²; $a=0,6$ м/с².

Коэффициент $k_т$ в соответствии с данными табл. 8-4 равен 0,3. Тогда мощность для предварительного выбора двигателя

$$P_{н.т}=5,79/0,3=19,3\ \text{кВт}.$$

Выбирается двигатель МТН 411-6, имеющий данные: $P_н=22$ кВт при $ПВ_н=40\%$; $n_{дв.н}=960$ об/мин; $GD^2_{вд}=2$ кг·м².

Проверяем двигатель на обеспечение теплового режима по (8-81). При этом согласно табл. 8-3 $\varepsilon_0=0,6$; $k_{экв}=0,8$; $k_3=1,15$; $\eta_{экв.б}=0,76$; $\varepsilon_р=0,125$; $k_р=0,91$. Согласно рис. 8-14 $k_0=1,12$.

По графику рис. 8-11 и формуле (8-78) при

$$z\frac{GD^2_\Sigma}{1,2GD^2_{дв}}=300\,\frac{32,3+2}{1,2\cdot 2}=4288\ \text{определяем}$$

$\eta_{экв}=0,285$. Тогда [см. (8-81)]

$$P_{дв.н.т}\geq\frac{0,8\cdot 1,15\cdot 0,76\sqrt{0,6/0,4}}{0,91\cdot 1,12\,[0,76-1,25\,(0,76-0,285)]}\cdot 5,79=$$
$$=29,4\ \text{кВт}>P_н.$$

Выбранный двигатель по тепловому режиму не проходит. Выбираем двигатель следующей величины МТН 412-6, имеющий данные: $P_н=30$ кВт при $ПВ_н=40\%$; $n_{дв.н}=965$ об/мин; $GD^2_{дв}=2,7$ кг·м².

При этом $z\dfrac{GD^2_\Sigma}{1,2GD^2_{дв}}=300\,\dfrac{32,3+2,7}{1,2\cdot 2,7}=3240$ и $\eta_{экв}=0,32$;

$$P_{дв.н.т}\geq\frac{0,8\cdot 1,15\cdot 0,76\sqrt{0,6/0,4}}{0,91\cdot 1,12\,[0,76-1,25\,(0,76-0,32)]}\cdot 5,79=$$
$$=23,4\ \text{кВт}.$$

Двигатель обеспечивает условия теплового режима. Проверяем двигатель на обеспечение пуска

$$M_{макс}\geq 1,2\left(\frac{95,5\cdot 5,79}{965}+\frac{32,3+2,7}{38,2}\cdot\frac{965\cdot 60}{133,8}\cdot 0,6\right)=$$
$$=360,6\ \text{Н·м},$$

что меньше максимального момента машины, т. е. двигатель выбран правильно.

г) Проверка выбора электродвигателей механизмов передвижения на обеспечение запаса по сцеплению

Электропривод механизмов перемещения должен быть проверен по запасу сцепления при пуске и торможении для наиболее неблагоприятных условий работы. В соответствии с данными выбранного по условиям теплового режима и пуска двигателя определяется время пуска и торможения в предположении линейного изменения скорости и без учета жесткости подвеса:

$$t_{\text{п}} = \frac{1{,}2\left(GD^2_{\text{дв}} + GD^2_{\text{мех}}\right) n}{38{,}2\,(M_{\text{п}} \pm M_{\text{ст}})} + \frac{G_{\text{кр}}\, v^2_{\text{макс}}}{0{,}105 n\eta\,(M_{\text{п}} \pm M_{\text{ст}})}, \qquad (8\text{-}84)$$

где $v_{\text{макс}}$ — максимальная скорость механизма передвижения; η — к. п. д. механизма. Знак «—» относится к пуску, «+» — к торможению.

При проверке запаса сцепления при пуске проверяется выполнение условия

$$k_{\text{сц.п}} = \frac{F_{\text{пр}}\,(\mu_0 + f_{\text{0мин}})}{F_{\text{с.макс}} + F_{\text{д}}} > 1{,}1 - 1{,}2, \qquad (8\text{-}85)$$

где $F_{\text{пр}}$ — нагрузка на приводные колеса; $\mu_0 = 0{,}12 \div 0{,}15$ — коэффициент сцепления ходового колеса с рельсом; $f_{\text{0мин}}$ — минимальное значение приведенного к диаметру колеса коэффициента трения; $F_{\text{с,макс}}$ — максимальное усилие сопротивления при движении против ветра и против уклона; $F_{\text{д}}$ — сила инерции массы крана, Н:

$$F_{\text{д}} = G_{\text{кр}}\, v_{\text{макс}} / t_{\text{д}}. \qquad (8\text{-}86)$$

Далее проверяется условие отсутствия буксования при торможении:

$$k_{\text{сц.т}} = \frac{F_{\text{пр}}\,(\mu_0 - f_{\text{0мин}})}{F_{\text{д}} - F_{\text{с.мин}}} > 1{,}1 \div 1{,}2, \qquad (8\text{-}87)$$

где $F_{\text{с.мин}}$ — минимальное усилие сопротивления при движении механизма

д) Некоторые частные случаи проверки выбора двигателей

Методы проверки выбора двигателей на обеспечение максимальной производительности. В ряде случаев работы крановых механизмов известна технология выполнения грузовых операций и можно рассчитать возможную по рабочим скоростям производительность грузового устройства. Проверка выбранного двигателя при этом должна показать, что допустимая производительность, определяемая потерями в двигателе, больше возможной производительности во всех предельных режимах работы кранового механизма. Методы расчета возможной производительности рассматривались в § 8-2, в. Расчет допустимой производительности осуществляется в следующей последовательности:

1) определяется действительная продолжительность включения электропривода

$$\varepsilon_0 = 1 - N_{\text{в}}\, t_{\text{пауз}}/3600, \qquad (8\text{-}88)$$

где $N_{\text{в}}$ — возможное число циклов в час, рассчитываемое по (8-71); $t_{\text{пауз}}$ — время пауз;

2) в соответствии с приведенным в § 8-2 разделением потерь вычисляются постоянные потери и потери, вызванные эквивалентной статической нагрузкой $(A_{\text{пост}} + A_{\text{ст}})\varepsilon_0$;

3) находятся динамические потери $A_{\text{д}}$;

4) рассчитываются допустимые для двигателя потери при номинальной относительной продолжительности включения $\varepsilon_{\text{н}}$ с учетом условий вентиляции $k_0 A_{\text{доп}} \varepsilon_{\text{н}}$;

5) определяется допустимое число циклов по формуле

$$N_{\text{доп}} = \frac{k_0 A_{\text{доп}}\, \varepsilon_{\text{н}} - A_{\text{ст}}\, \varepsilon_0}{A_{\text{д}}}. \qquad (8\text{-}89)$$

Определение допустимого числа циклов электроприводов с асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Учитывая, что между потерями в меди ротора и статора двигателей с короткозамкнутым ротором существует прямая пропорциональность (см. 8-50), можно более просто выполнять расчеты тепловых режимов по цепи ротора.

Допустимое число циклов при этом определяется по формуле

$$N_{\text{доп}} = \frac{(M_{\text{н}}\, s_{\text{н}}\, \varepsilon_{\text{н}}\, k_0 - M_{\text{экв.ст}}\, s_{\text{экв.ст}}\, \varepsilon_0)\, 25{,}8 \cdot 10^6}{(k_1/2)\, GD^2\, n_{\text{c}}^2\, k_{\text{д}}}, \qquad (8\text{-}90)$$

где $M_{\text{экв.ст}}$ и $s_{\text{экв.ст}}$ — момент эквивалентной статической нагрузки и соответствующее ему скольжение; k_1 — среднее число включений электропривода за один цикл, определяемое по формулам § 8-2.

Для электроприводов с многоскоростными асинхронными двигателями необходимо учитывать снижение динамических потерь при ступенчатом разгоне и торможении двигателя в соответствии с (8-55).

В практических расчетах при определении допустимой производительности электроприводов с трехскоростными двигателями можно использовать формулу

$$N_{\text{доп}} = \frac{(M_{\text{н}}\, s_{\text{н}}\, \varepsilon_{\text{н}}\, k_0 - M_{\text{экв.ст}}\, s_{\text{экв.ст}}\, \varepsilon_0)\, 25{,}8 \cdot 10^6}{\frac{k_1}{2}\, GD^2\, n_{\text{c}}^2 \left[1{,}3\left(\frac{n_1}{n_{\text{c}}}\right)^2 + 2{,}5\left(\frac{n_2 - n_1}{n_{\text{c}}}\right)^2 + 2{,}5\left(\frac{n_{\text{c}} - n_2}{n_{\text{c}}}\right)^2\right]} \qquad (8\text{-}91)$$

и для электроприводов с двухскоростными двигателями

$$N_{\text{доп}} = \frac{(M_{\text{н}}\, s_{\text{н}}\, \varepsilon_{\text{н}}\, k_0 - M_{\text{экв.ст}}\, s_{\text{экв.ст}}\, \varepsilon_0)\, 25{,}8 \cdot 10^6}{\frac{k_1}{2}\, GD^2\, n_{\text{c}}^2 \left[1{,}3\left(\frac{n_1}{n_{\text{c}}}\right)^2 + 2{,}5\left(\frac{n_{\text{c}} - n_1}{n_{\text{c}}}\right)^2\right]}, \qquad (8\text{-}92)$$

где n_{c} — синхронная частота вращения быстроходной обмотки.

Учет температуры окружающей среды и условий высокогорья. Номинальная мощность двигателей нормируется для температуры окружающего воздуха до 40° С. Если температура воздуха превышает 40° С, то в приведенные выше расчетные формулы, определяющие выбор кранового двигателя, нужно ввести соответствующую поправку, повышающую его мощность. Точный расчет такой поправки сложен. В качестве приближенного решения заводом «Динамо» рекомендуется учитывать температуру окружающего воздуха, увеличивая мощность выбираемого двигателя на 1% при превышении температуры на 1° С. Например, на кранах металлургических предприятий рабочая температура может достигать 70° С, при этом мощность двигателя следует увеличить на 30%.

Учет условий высокогорья необходим для вентилируемых машин. В соответствии с опытом эксплуатации можно рекомендовать учитывать условия высокогорья путем снижения мощности двигателя на 10% на

каждые 1000 м увеличения высоты над уровнем моря, сверх первой тысячи. Работоспособность двигателей при высоте 4000 м не гарантируется.

Предельные нагрузки двигателей крановых электроприводов. Максимально допустимая нагрузка крановых двигателей лимитируется рядом условий. Они определяются как механическими свойствами двигателей, так и резким увеличением нагрева машин при значительном превышении номинальных нагрузок. Перегрузочные свойства двигателей переменного тока характеризуются критическим моментом с учетом возможного снижения напряжения питания, а для двигателей постоянного тока — условиями коммутации. Быстрое повышение температуры обмоток при перегрузках объясняется двумя причинами: при нагрузках, близких к максимальным, потери в меди возрастают от момента в зависимости большей квадратичной; при кратковременном выделении в обмотках большого количества теплоты теплопередача от обмотки к стали сердечника затруднена, что снижает постоянную времени нагрева обмотки. Например, при номинальной нагрузке температура обмоток статора и ротора машин переменного тока повышается со скоростью около 0,2° С/с, что соответствует колебаниям температуры около 30° С в течение стандартного 10-минутного испытательного цикла, а при нагрузке 0,8 максимальной нарастание температуры обмоток увеличивается в 30 раз.

В то же время кратковременные перегрузки незначительно сказываются на эквивалентной нагрузке. Указанные обстоятельства могут иметь особенно существенное значение при прямых пусках асинхронных короткозамкнутых двигателей, развивающих максимальные моменты при каждом пуске.

При больших маховых массах механизмов ($GD^2_\Sigma \geqslant \geqslant 20GD^2_{дв}$) для перегрева обмоток могут быть достаточными два — четыре пуска, следующих непосредственно один за другим, даже если эквивалентная нагрузка в цикле не превышает допустимого значения. С учетом перечисленных факторов не рекомендуется превышать средний пусковой момент двигателя переменного тока выше 1,7 номинального значения и двукратного номинального момента для двигателей постоянного тока, при этом максимальный (пиковый) момент при параметрическом пуске не должен превышать 2,5 $M_н$ для асинхронных машин и 3 $M_н$ — для двигателей постоянного тока.

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

ТИПОВЫЕ КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С КОНТАКТОРНО-КОНТРОЛЛЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

9-1. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЦЕПИ РОТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТОРМОЖЕНИЕМ ПРОТИВОВКЛЮЧЕНИЕМ

а) Особенности построения электроприводов. Область применения

Электроприводы с регулированием сопротивления в цепи ротора благодаря простоте реализации применяемого метода регулирования скорости нашли наиболее широкое применение в крановых системах и сейчас составляют основную часть находящихся в эксплуатации и выпускаемых промышленностью электроприводов.

Комплектные электроприводы включают в себя системы с силовыми кулачковыми контроллерами и магнитными контроллерами с цепями управления на переменном (контакторы КТ 6000) и постоянном (контакторы КТПВ 600 и КТП 6000) токе. Такое построение рядов электроприводов позволяет в каждом конкретном случае осуществить выбор наиболее приемлемой системы с учетом условий эксплуатации, предъявляемых требований по автоматизации управления, масс, габаритов и стоимости. Ряды электроприводов включают в себя все типы крановых двигателей с фазным ротором серии MTF и MTH для диапазона мощностей от 1,2 до 200 кВт и строятся отдельно для механизмов подъема и передвижения крановых устройств.

Комплект электропривода для рассматриваемой системы регулирования полностью определяется типом двигателя, допускаемой мощностью статической нагрузки для механизмов подъема и мощностью переключения для механизмов передвижения в зависимости от режима работы, пускорегулирующими резисторами (соответствующими требуемым механическим характеристикам электропривода с учетом условий формирования пусков и торможений), а также типом контроллеров с учетом зависимости их коммутационной способности и износостойкости от параметров режима работы. Важным является также выбор максимальной защиты электропривода, которая должна контролировать правильность протекания пускотормозных режимов системы. Вся остальная аппаратура (кольцевые токоприемники, концевые выключатели, аппаратура ввода питания и т. д.), устанавливаемая на кране, относится к общекрановому электрооборудованию и не определяет особенности комплекта электропривода. Вопросы определения мощности двигателя, допустимой нагрузки коммутационной аппаратуры и расчета пускорегулирующих резисторов рассматривались в предыдущих разделах.

В соответствии с изложенным здесь будут приведены таблицы с параметрами конкретных электроприводов.

Электроприводы с силовыми кулачковыми контроллерами предназначены для механизмов режимов работы Л и С, хотя в ряде случаев при условии значительного снижения мощности статической нагрузки могут применяться и для режима Т. Мощность управляемых силовыми контроллерами двигателей в режиме Л не превышает 30 кВт (при ПВ=40%) при применении кулачковых контроллеров ККТ 61 и ККТ 62 и 45 кВт для кулачковых контроллеров ККТ 68 с магнитным реверсом. По схемному использованию и механическим характеристикам электроприводы механизма подъема и передвижения полностью идентичны, за исключением систем с контроллерами ККТ 62, предназначенных для двухдвигательных электроприводов механизмов передвижения. Особенностью этих систем является осуществление тормозных режимов на характеристиках противовключения. Спуск груза в режиме рекуперативного торможения возможен только на сверхсинхронных скоростях.

Электроприводы с магнитными контроллерами охватывают диапазон номинальных мощностей двигателей от 11 до 180 кВт для механизмов подъема и от 3,5 до 100 кВт для механизмов передвижения. Для их по-

строения используются 13 типов магнитных контроллеров с цепями управления переменного тока и номинальными токами контакторов 160 и 250 А серий Т и ТСА и 14 типов контроллеров с цепями управления постоянного тока и номинальными токами контакторов 60, 160, 250 и 400 А типов К и КС.

Применение двух модификаций (по типам питания катушек контакторов) магнитных контроллеров не связано с особенностями построения электроприводов, а определяется условиями эксплуатации. Магнитные контроллеры типа К и КС предназначены для крановых механизмов металлургического производства, работающих в условиях повышенных температур и запыленности, и отличаются от контроллеров Т и ТСА не только типом применяемых контакторов, но и рядом конструктивных особенностей, рассмотренных подробно в § 3-7.

Повышенные требования к краново-металлургическому электрооборудованию определили и некоторые особенности построения схем контроллеров К и КС по сравнению с контроллерами Т и ТСА. К ним относятся применение индивидуальной защиты для металлургических контроллеров, в то время как для панелей Т и ТСА основной является схема без элементов защиты с применением общей для всего крана защитной панели, обеспечение работы крана при выходе из строя одного или нескольких двигателей в двух или многодвигательных электроприводах при управлении от сдвоенных контроллеров и ряд других схемных особенностей, рассмотренных ниже.

Применение для магнитных и кулачковых контроллеров принципиально одинаковых методов регулирования скорости и осуществления тормозных режимов двигателей определяют малые отличия регулировочных и энергетических показателей электроприводов. Для них характерным является отсутствие устойчивых посадочных и промежуточных скоростей и большие потери при регулировании. С целью повышения диапазона регулирования скоростей в магнитных контроллерах подъема (ТСА и КС) обеспечивается режим однофазного торможения для спуска легких грузов. В целом диапазон регулирования скоростей рассматриваемых электроприводов не превышает 2,5:1 для систем с кулачковыми контроллерами и 3,5:1 для систем с магнитными контроллерами. Увеличение диапазона регулирования для систем с магнитными контроллерами достигается не только применением режима однофазного торможения, но и автоматизацией по времени режимов пуска и торможения.

Ниже рассматриваются типовые схемы электроприводов с силовыми и магнитными контроллерами для механизмов подъема и передвижения и проводятся таблицы рядов их комплектных электроприводов.

Несмотря на указанные выше недостатки рассматриваемых электроприводов, в настоящее время они применяются на большинстве механизмов мостовых, козловых, портальных и перегрузочных кранов, в механизмах передвижения башенных, контейнерных и других кранов. Однако следует отметить, что во многих случаях эти системы не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям и по мере более широкого промышленного освоения крановых электроприводов других типов, описанных ниже, область применения рассматриваемых электроприводов будет постоянно сокращаться.

б) Схемы электроприводов

Схемы и механические характеристики электроприводов с силовыми кулачковыми контроллерами типа ККТ 61А, ККТ 62А, ККТ 68А. Принципиальные схемы контроллеров ККТ 61А, ККТ 62А и ККТ 68А приведены соответственно на рис. 9-1—9-3. На схемах части, относящиеся к кулачковым контроллерам, обведены штрихпунктирными линиями. Типовые механические характеристики для всех исполнений контроллеров показаны на рис. 9-4 (номера характеристик соответствуют положениям контроллера).

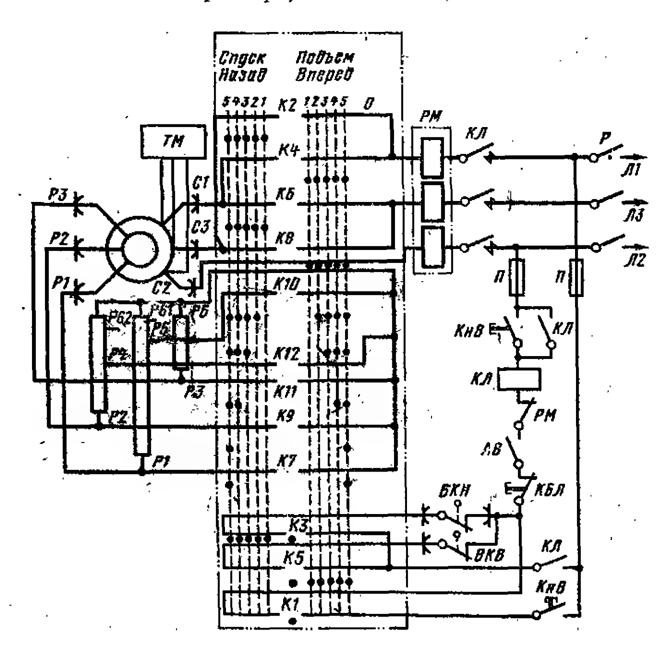


Рис. 9-1. Схема кулачкового контроллера ККТ 61А.

Все контроллеры имеют по пять фиксированных рабочих положений для каждого направления движения и одно фиксированное нулевое положение. Контроллеры обеспечивают ступенчатый пуск, ступенчатое регулирование скорости, реверс и торможение. Регулирование скорости по ступеням осуществляется путем изменения сопротивления в цепи ротора. Контроллеры имеют одинаковые диаграммы контактов для обоих направлений вращения двигателя.

Включение электродвигателя и изменение направления его вращения производится или кулачковыми элементами *К2, К4, К6, К8* (ККТ 61А) или механически и электрически сблокированными между собой контакторами *КВ* и *КН* реверсора, которые коммутируют и изменяют последовательность чередования двух фаз обмоток статора. Контакторы реверса управляются соответствующими контактами кулачковых контроллеров *К1, К3* в ККТ 68А и *К5, К7* в ККТ 62А. Коммутирование ступеней резисторов ротора осуществляется контактами *К7, К9—К12* в ККТ 61А; *К2—К4, К6, К8—К10, К12* в ККТ 62А и *К2, К4 К6, К8—К12* в ККТ 68А. При этом в контроллерах ККТ 61А и ККТ 62А коммутация ступеней резисторов выполняется по несимметричной, а в контроллерах ККТ 68А — по симметричной схемам.

Для остановки двигателя после его отключения от сети предусмотрен тормоз с приводом от электромагнитов *ТМ*, которые включены на выводы статора. Контакты цепи управления *К1, К3, К5* (рис. 9-1 и 9-3), а также контакты *К1, К5, К7* (рис. 9-2) используются для обеспечения нулевой, максимальной (реле *РМ*) и конечной (выключатели *ВКН, ВКВ*) защит, которые воздействуют на линейный контактор *КЛ* защитной панели ПЗКБ. В цепь катушки контактора *КЛ* (схема на рис. 9-1) включаются контакты кнопки выключения

КНВ, аварийного выключателя *АВ* и контакты блокировки люка *КБЛ*.

Кулачковые контроллеры ККТ 61А, ККТ 62А и ККТ 68А отличает невысокое качество регулирования скорости двигателя. Действительно, пониженная скорость двигателя может быть реализована только при работе в I и III квадрантах на характеристиках *1* и *2* (рис. 9-4) при достаточно бо́льших моментах нагрузки. Пониженные скорости при меньших нагрузках, а также при работе в генераторном режиме (II и IV квадранты) могут быть получены только путем переключений контроллера с одной позиции на другую (изменением сопротивлений) и периодическим накладыванием механического тормоза при постановке контроллера в нулевое положение. Качество такого регулирования определяется количеством необходимых переключений для получения средней скорости перемещения груза. Количество переключений зависит от моментов, развиваемых двигателем и механическим тормозом. Момент тормоза постоянен, а момент двигателя может быть выбран включением необходимых ступеней резисторов. При этом определяющим является начальный пусковой момент двигателя, от которого зависит количество переключений. Циклическую работу контроллера следует учитывать при выборе механических характеристик и, в частности, характеристики первого положения. Так, для механизмов подъема, где требуется получить посадочные скорости при спуске, желательно уменьшать начальный пусковой момент, поскольку это может привести к некоторому снижению числа переключений контроллера.

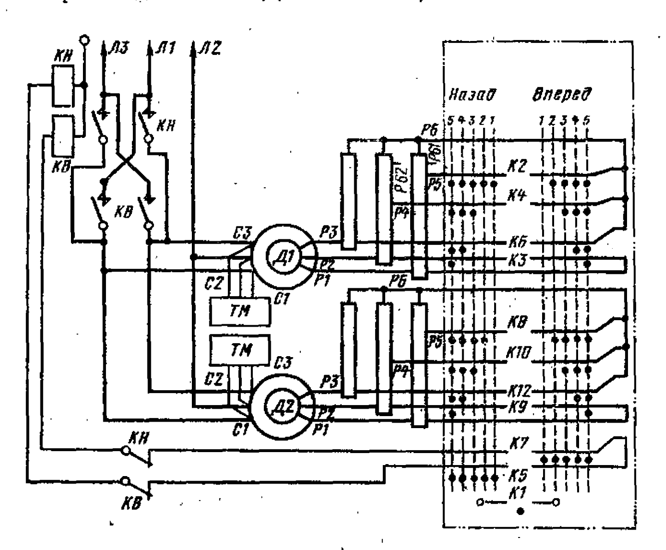


Рис. 9-2. Схема кулачкового контроллера ККТ 62А.

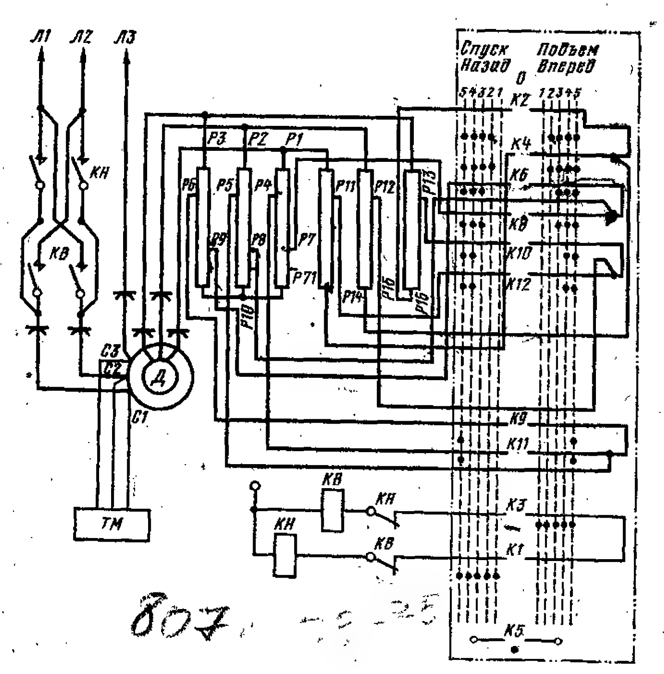


Рис. 9-3. Схема кулачкового контроллера ККТ 68А.

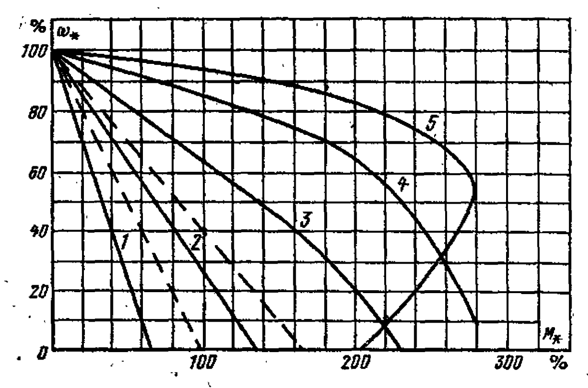


Рис. 9-4. Типовые механические характеристики электроприводов с контроллерами ККТ 61А, ККТ 62А и ККТ 68А. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р5*—*26*; *Р5—Р61*—170; *Р61—Р6*—75; *Р2—Р4*—9; *Р4—Р62*—87; *Р62—Р6*—35; *Р3—Р6*—61 (контроллеры ККТ 61А и ККТ 62А); *Р1—Р4*—9; *Р4—Р7*—31; *Р7—Р71*—60; *Р71—Р10*—40; *Р1—Р11*—17; *Р11—Р14*—76 (контроллеры ККТ 68А).

С другой стороны, чрезмерное снижение начального момента может привести к опусканию тяжелых грузов на позициях подъема и возникновению чрезмерных скоростей при его спуске. Для исключения этого необходимо, чтобы начальный пусковой момент на первой характеристике контроллера был не меньше 70% $M_н$. За 100% момента на характеристиках рис. 9-4 принят момент двигателя MTF, MTH при ПВ=40%. В случае применения (для механизмов подъема) двигателей при ПВ=25% начальный пусковой момент на характеристике *1* (в целях исключения опускания груза на положении подъема) должен быть увеличен до 100% $M_н$, на характеристике *2* — до 165% $M_н$ (см. характеристику *3*, показанную пунктиром). Увеличение момента достигается за счет уменьшения сопротивлений соответствующих ступеней резисторов (устанавливаются перемычки Р6—Р61 и Р6—Р62 в контроллерах ККТ 61А, ККТ 62А и перемычки Р71—Р10, Р82—Р10 и Р93—Р10 в контроллерах ККТ 68А).

Для механизмов передвижения выбор начального пускового момента на характеристике *1* определяется в основном необходимыми параметрами ускорения и

торможения при противовключении. Исходя из этого начальный пусковой момент двигателя должен быть минимальным и лежать в пределах 50—70% $M_н$.

Приведенные на рис. 9-4 механические характеристики являются универсальными, рассчитанными для механизмов как подъема, так и передвижения, и являются общими для всех исполнений контроллеров. Некоторая несущественная разница заключается только в том, что в отличие от ККТ 61А в контроллерах ККТ 62А и ККТ 68А на последнем положении предусмотрены невыключаемые ступени резисторов. Включение невыключаемых ступеней резисторов в контроллерах ККТ 68А определяется условиями обеспечения нормального пуска и вызвано тем, что указанные контроллеры управляют двигателями большей мощности (имеют меньшие значения скольжений), чем ККТ 61А и ККТ 62А. Включение невыключаемых ступеней резисторов в контроллерах ККТ 62А вызвано ограниченностью числа кулачковых элементов.

Схемы электроприводов с магнитными контроллерами серии ТСА, ТСАЗ, КС, ДКС. Различие между перечисленными контроллерами заключается в системе питания цепей управления. Цепи управления контроллеров ТСА и ТСАЗ выполнены на переменном токе, а КС и ДКС на постоянном.

На рис. 9-5 — 9-7 приведены типовые принципиальные схемы магнитных контроллеров соответственно ТСА, ТСАЗ и КС. По построению схемы двухдвигательных (дуплексных) контроллеров типа ДКС аналогичны описанным схемам контроллеров механизмов передвижения типа ДК. В контроллерах ДКС используются индивидуальные реверсоры для каждого из двигателей. Контроллеры КС и ТСА по схеме имеют исполнения для обычных крюковых и грейферных кранов, дуплексные контроллеры только для кранов с крюком.

Типовые механические характеристики контроллеров для крюковых и грейферных кранов показаны на рис. 9-8. В них за 100% приняты: момент статической нагрузки и синхронная скорость двигателя. Для грейферных кранов характеристики на спуске обозначены индексом «г».

Схемы всех магнитных контроллеров обеспечивают автоматический разгон, реверсирование, торможение и ступенчатое регулирование скорости. Управление осуществляется с помощью командоконтроллеров, имеющих по четыре фиксированных рабочих положения подъема и спуска. На положениях подъема пуск и регулирование скорости осуществляется изменением сопротивлений резисторов, включенных в цепь обмотки ротора электродвигателя.

Первое положение, на котором реализуется минимальный пусковой момент, служит для выбора слабины троса и подъема малых грузов на пониженной скорости (характеристика *1П*). Подъем с малой скоростью тяжелых грузов производится на втором положении (характеристика *2П*). На третьем положении осуществляется первая ступень разгона электродвигателя (характеристика *3П*), причем пусковой ток на этом положении меньше тока уставки максимальных реле. Последние две ступени пуска осуществляются автоматически

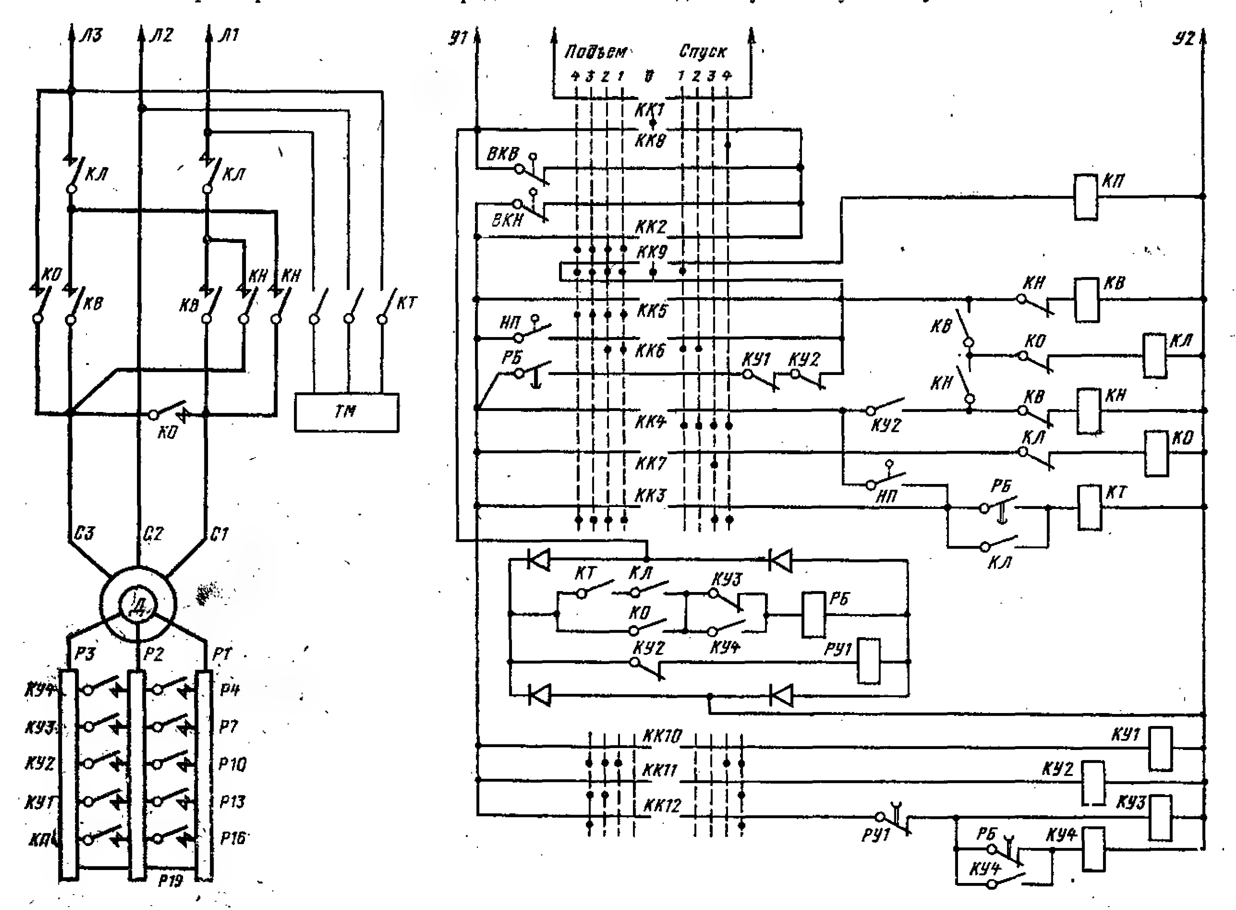


Рис. 9-5. Типовая схема магнитного контроллера ТСА.

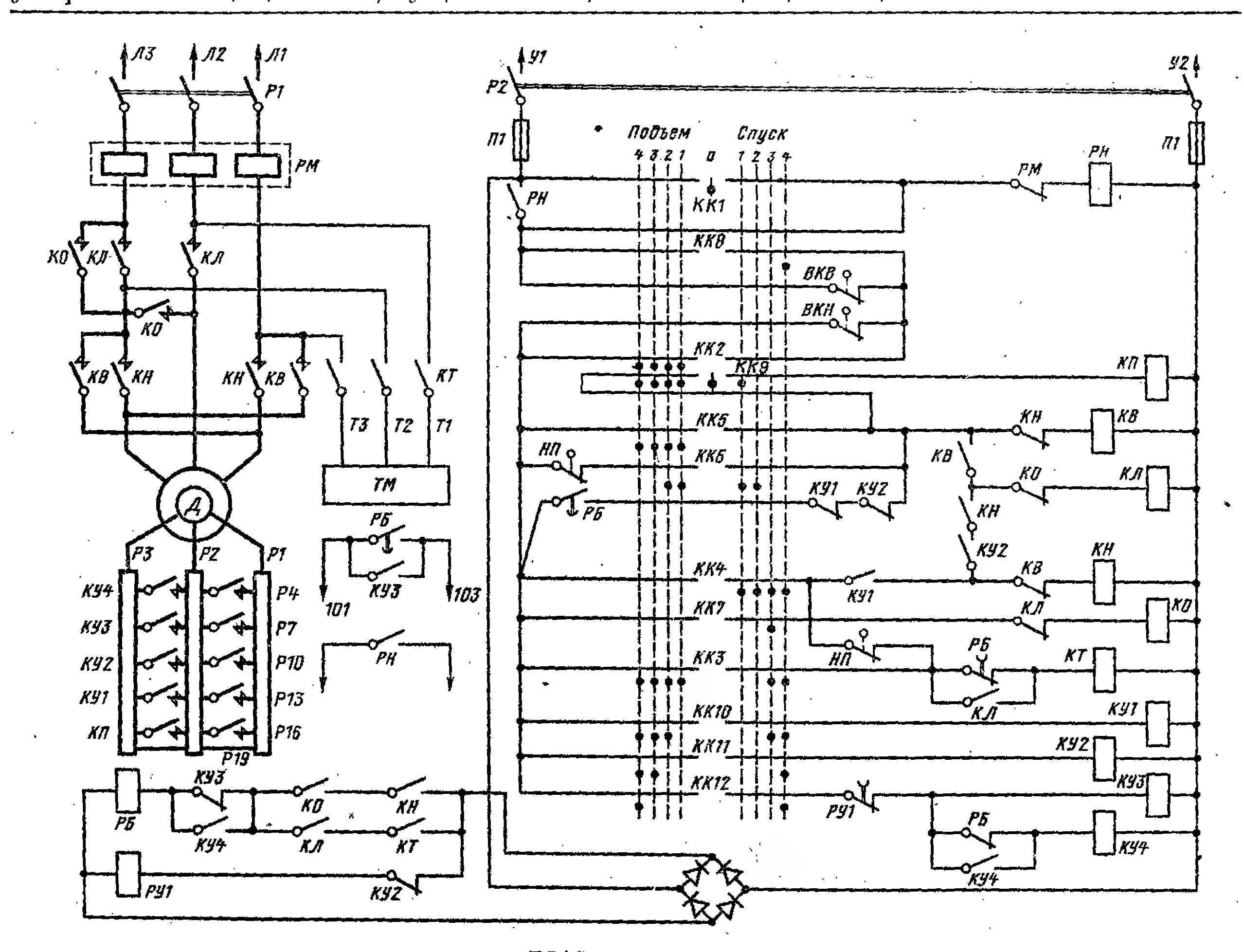


Рис. 9-6. Типовая схема магнитного контроллера ТСАЗ.

под контролем реле времени *РУ1*, *РУ2*, характеристика *4П* (контроллеры КС) и *РУ1*, *РБ* (контроллеры ТСА и ТСАЗ). На положениях спуска обеспечивается регулирование скорости двигателя в режимах: противовключения на первом и втором положениях (характеристики *1С* и *2С*) и однофазного торможения на третьем положении (характеристика *3С*). На четвертом положении, на котором все ступени резисторов выведены, производится спуск грузов с наибольшей скоростью (характеристика *4С*). Первое и второе положения используются в основном для получения малых скоростей спуска грузов, близких к номинальному.

Ступени резисторов в цепи ротора выводятся с помощью контакторов ускорения *КУ1—КУ4* и контактора противовключения *КП*.

Режим однофазного торможения (характеристика *3С*) предназначен для получения малых скоростей при спуске легких грузов. Используя положения противовключения и однофазного торможения, можно регулировать скорость спуска различных грузов (путем переключения рукоятки командоконтроллера между третьим, вторым и первым положениями) в пределах диапазона 4:1—3:1. Спуск с малой скоростью грузов, не преодолевающих трение в механизме, осуществляется путем переключения между третьим и четвертым положениями. Во избежание подъема груза на положениях торможения противовключением двигатель при прямом ходе командоконтроллера включается только на третьем положении однофазного торможения, когда подъем груза исключен.

Схема однофазного торможения собирается при включении контакторов *КО*, *КН* (контроллеры ТСА и ТСАЗ) и *КВ2*, *КН2* (контроллеры КС) в цепи статора и контактора ускорения *КУ1* в цепи ротора. Для исключения одновременного включения контакторы однофазного торможения *КО* и противовключения *КП*, направления *КВ2* и *КН2*, а также контакторы направления *КН* и *КВ* соответственно попарно механически сблокированы. В контроллерах с цепью управления на переменном токе эти контакторы сблокированы еще и электрически. При установке заведомо тяжелых грузов с тем, чтобы не получилось недопустимо большой скорости на третьем положении, можно сразу обеспечить включение первого или второго положения спуска, нажав педаль спуска тяжелых грузов *НП*.

Во всех схемах магнитных контроллеров предусмотрено (с помощью контактора *КТ*) включение электромагнитного тормоза *ТМ* для обеспечения механического торможения до полной остановки. При этом в схемах магнитных контроллеров КС допускается применение тормозных магнитов переменного и постоянного тока. В последнем случае выполняется форсировка включения тормоза, осуществляемая контактором *КТ1* и реле *РТ*. Реле *РТ* настраивается на срабатывание при токе, равном номинальному току холодной катушки электромагнита тормоза при ПВ=25%. При переводе рукоятки

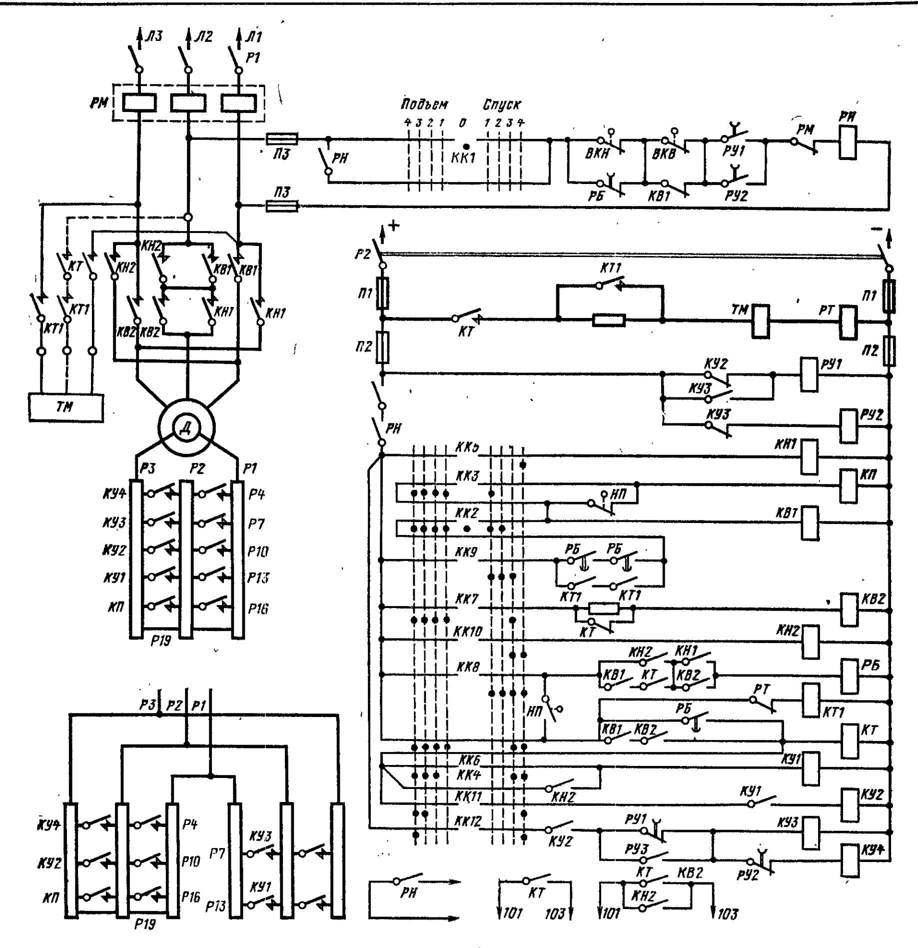


Рис. 9-7. Типовая схема магнитного контроллера КС.

командоконтроллера с положений спуска в нулевое положение (при нажатой педали на первом и втором положениях) или с четвертого (или третьего) положения спуска в нулевое, первое или второе положения (педаль *НП* — не нажата) обеспечивается наряду с механическим и электрическое торможение в течение времени, определяемого выдержкой времени реле *РБ*. На это время собирается схема, соответствующая второму положению спуска.

Во избежание чрезмерных скоростей в аварийных режимах выдержка времени реле *РБ* должна быть не более 0,5 с. Для получения торможения (при ненажатой педали *НП*), соответствующего второму положению спуска, в схемах контроллеров КС (кроме КС 400, ДКС 160 и ДКС 250) предусмотрено включение в цепь катушки контактора *КП* размыкающих контактов ножного выключателя *НП*. Совмещение механического и электрического торможения повышает надежность и исключает просадку груза.

В отличие от КС 160 и КС 250 контроллеры КС 400 имеют исполнение, в котором питание цепей управления производится от сети переменного тока через отдельный выпрямительный блок. Это исполнение предусматривает применение тормозов только переменного тока (в схеме исключено реле *РТ*). Контроллеры КСД 400 такого исполнения не имеют. В контроллерах КС 400 для разгрузки контактов командоконтроллера коммутация цепей управления производится электромагнитными реле постоянного тока, устанавливаемыми в отдельном магнитном контроллере открытого исполнения типа

БПК (масса 90 кг, габаритные размеры 636×345××1010 мм). Контакты же командоконтроллера коммутируют маломощные цепи катушек этих реле. Катушки контакторов статора в контроллерах КС 400 (для ускорения включения контакторов) соединены последовательно с резисторами.

Схемы магнитных контроллеров КС и ТСА грейферного исполнения выполнены на тех же принципах, что

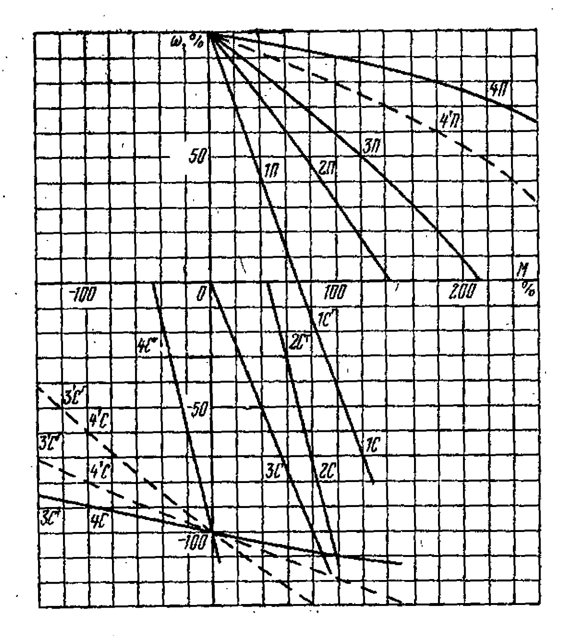


Рис. 9-8. Механические характеристики электроприводов механизмов подъема с магнитными контроллерами КС и ТСА. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р4* — 5; *Р4—Р7* — 10; *Р7—Р10* — 20; *Р10—Р13* — 27; *Р13—Р16* — 76; *Р16—Р19* — 72 и при параллельно включенных роторных резисторах — *Р1—Р4* — 14; *Р4—Р10* — 39; *Р10—Р16* — 36; *Р16—Р19* — 72; *Р1—Р7* — 23; *Р7—Р13* — 92. Данные указаны на одну фазу.

и рассмотренные схемы контроллеров, предназначенных для кранов с крюковой подвеской. Основные отличия заключаются в следующем: в грейферном исполнении (так же как и в ТСАЗ 250) нет режима однофазного торможения; на магнитном контроллере привода замыкающей лебедки предусмотрен режим силового спуска (четвертое положение командоконтроллера — см. характеристику $4С^{г}$ на рис. 9-8) с полностью введенными в цепь ротора пусковыми ступенями резисторов; контроллеры замыкающей и поддерживающей лебедок сблокированы с помощью реле *РН*, что исключает возможность работы одним приводом в случае отключения нулевой защиты на другом.

В контроллерах на номинальный ток 400 А для снижения нагрузки в контактах контакторов цепи ротора предусмотрено параллельное включение резисторов. Такое же включение предусматривается также и в контроллерах на 250 А в случае, если нагрузка превышает допустимую для контакторов ротора, которые во всех типах магнитных контроллеров используются на номинальный ток 160 А.

В магнитных контроллерах ТСА предусмотрена конечная защита. Максимальная и нулевая защиты выведены на защитную панель. В контроллерах ТСАЗ и КС предусматривается нулевая, максимальная и конечная защиты. Максимальная защита, выполняемая реле *РМ*, настраивается на срабатывание при токе 250% номинального в контроллерах без однофазного торможения и при токе 270% — в контроллерах с однофазным торможением. Большее значение уставки вызвано повышением тока, потребляемого двигателем при однофазном торможении.

В контроллерах КС узел нулевой защиты выполнен на переменном токе (реле *РН* получает питание от силовой цепи). Для обеспечения нулевой защиты в случае исчезновения напряжения постоянного тока в цепи управления катушка реле *РН* получает питание через замыкающие контакты реле ускорения *РУ1* и *РУ2*. Конечная защита, осуществляемая выключателями *ВКВ* и *ВКН*, выполнена таким образом, что срабатывание конечного выключателя одного направления не препятствует движению механизма в противоположном направлении.

Контакты аппаратов с выводами *101—103* (только в контроллерах с защитой) предназначены для цепей сигнализации.

Схемы электроприводов с магнитными контроллерами серии ТА, ДТА, К и ДК. Разница между перечисленными контроллерами заключается только в схемах управления, выполняемых на постоянном (К и ДК) и переменном (ТА и ДТА) токе.

На рис. 9-9 и 9-10 приведены типовые принципиальные схемы магнитных контроллеров типов К и ТА.

Схемы выполнены симметричными для обоих направлений движения. Количество фиксированных положений в каждую сторону равно четырем. Схемы обеспечивают автоматический пуск, реверсирование, торможение и ступенчатое регулирование скорости за счет изменения значений сопротивлений резисторов в роторной цепи. Разгон в обоих направлениях производится в четыре ступени (предусмотрены контакторы *КП*, *КУ1*, *КУ2*, *КУ3*), а в контроллерах, управляющих двигателями небольшой мощности (К 63 и исполнение ТА 161 на мощности до 30 кВт), количество ступеней разгона равно трем (контакторы *КП*, *КУ1* и *КУ2*).

Механические характеристики для указанных исполнений магнитных контроллеров приведены на рис. 9-11. В характеристиках за 100% момента принят номинальный момент двигателей MTF, MTH в режиме ПВ=40%, за 100% скорости — синхронная скорость двигателя. Для контроллеров К 63 и ТА 161 на малые мощности двигателей характеристика *4а* соответствует последнему, фиксированному положению контроллера. Механические характеристики (так же как и при управлении силовыми кулачковыми контроллерами ККТ 60А) рассчитаны из условий обеспечения необходимых параметров ускорения привода при пуске и торможении в режиме противовключения. Для обеспечения нормального пуска в схемах всех магнитных контроллеров предусматриваются невыключаемые ступени резисторов в цепи ротора. При этом относительное значение сопротивлений этих резисторов несколько больше в контроллерах с тремя ступенями разгона.

При движении с неподвижного состояния на первом положении разгона осуществляется задержка на время срабатывания промежуточного реле *РБ* (в контроллерах серии Т) и реле противовключения *РП*. Дальнейший разгон осуществляется под контролем реле ускорений *РУ1* и *РУ2*. При этом реле *РУ1* обеспечивает переход на характеристики, соответствующие третьему и четвертому положениям контроллера. Выдержки времени реле при отпадании якоря, определяющие интенсивность ускорения, лежат в пределах 0,4—2,5 с.

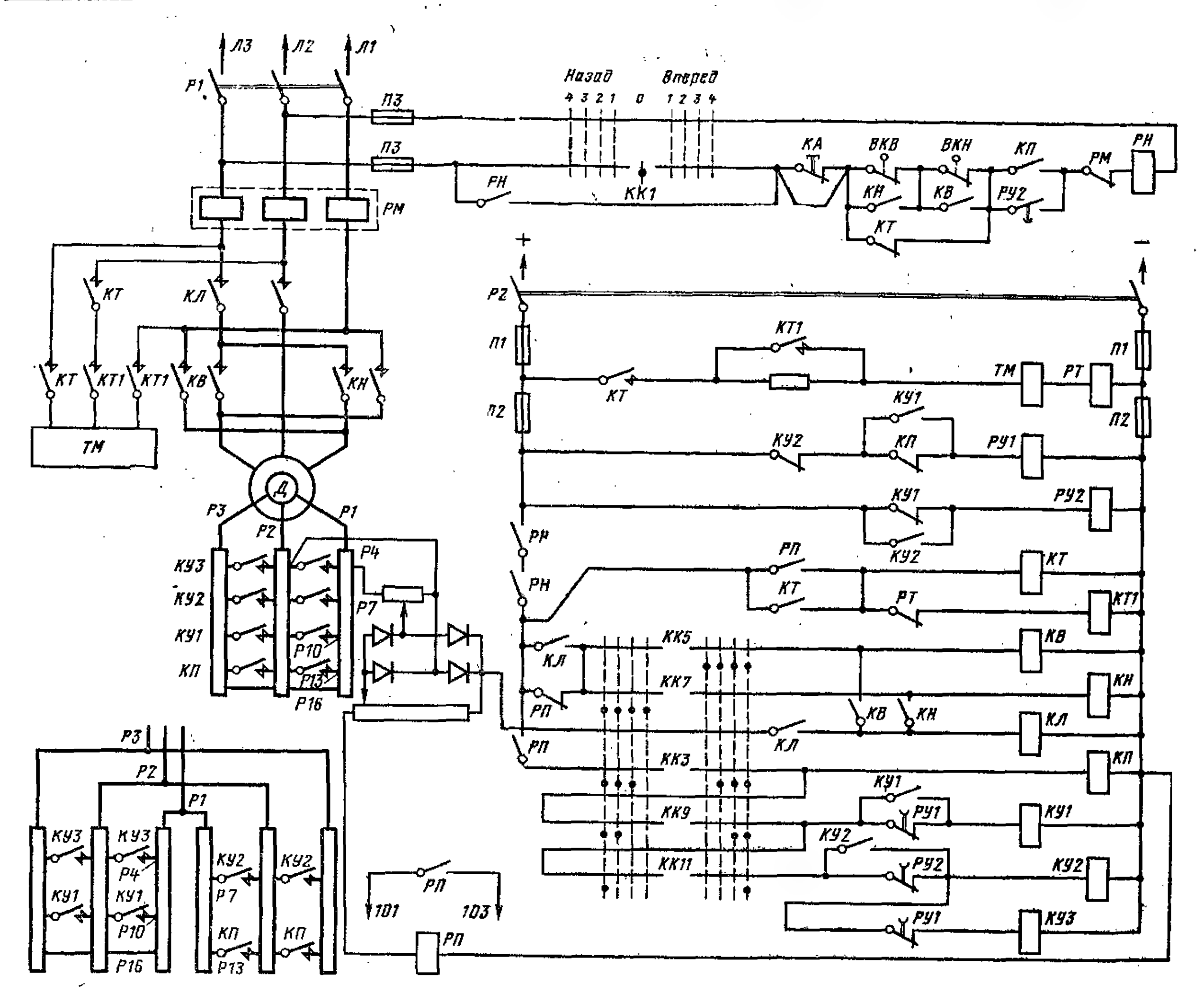


Рис. 9-9. Типовая схема магнитного контроллера К.

Схемы допускают свободный выбег в нулевом положении командоконтроллера или торможение с помощью электромагнитного тормоза *ТМ*. Для остановки механизма при схеме со свободным выбегом необходимо переключать командоконтроллер в противоположное направление движения, при этом независимо от положения рукоятки командоконтроллера собирается схема первого положения (отключается реле *РП*) и происходить торможение в режиме противовключения. Задержка на режиме противовключения осуществляется с помощью реле *РП*, которое срабатывает при скорости движения в тормозном режиме, близкой к нулю. После остановки механизма возможен разгон в противоположном направлении. Таким образом, в процессе оперативного торможения механический тормоз не участвует. Для осуществления торможения в режиме противовключения катушка реле *РП* включается на разность выпрямленных напряжений: постоянного — со стороны независимого источника и переменного — со стороны ротора.

Реле срабатывает, когда напряжение со стороны независимого источника превысит на определенное значение напряжение со стороны ротора, т. е. при скольжениях ротора от 1,0 до номинального при пуске и при скольжении от 1,3 до 1,0 в режиме противовключения.

Использование торможения противовключением наряду со свободным выбегом позволяет осуществить плавную остановку механизма без рывков, связанных с наложением механических тормозов. Механический тормоз вступает в действие только при срабатывании любого из видов защиты — максимальной, нулевой, конечной или при отключении аварийной кнопки *КА*. Для получения схемы без свободного выбега необходимо произвести следующие переключения: тормозной магнит *ТМ* переменного тока присоединить непосредственно к выводам статора двигателя; катушки контакторов тормоза *КТ* и *КТ1* отключить, для чего снять перемычки *7—9*, *9-11* (схема на рис. *9-10*) и *19—21*, *45—23* (схема на рис. 9-9); контакты конечной защиты *ВКН* и *ВКВ* шунтировать размыкающими контактами контакторов направления *КВ* и *КН* (показаны пунктиром).

При соответствующих переключениях в схеме контроллеров серии К возможно использование вместо тормоза переменного тока тормоза постоянного тока. В этом случае для ускорения его включения предусмотрена форсировка, осуществляемая с помощью кон-

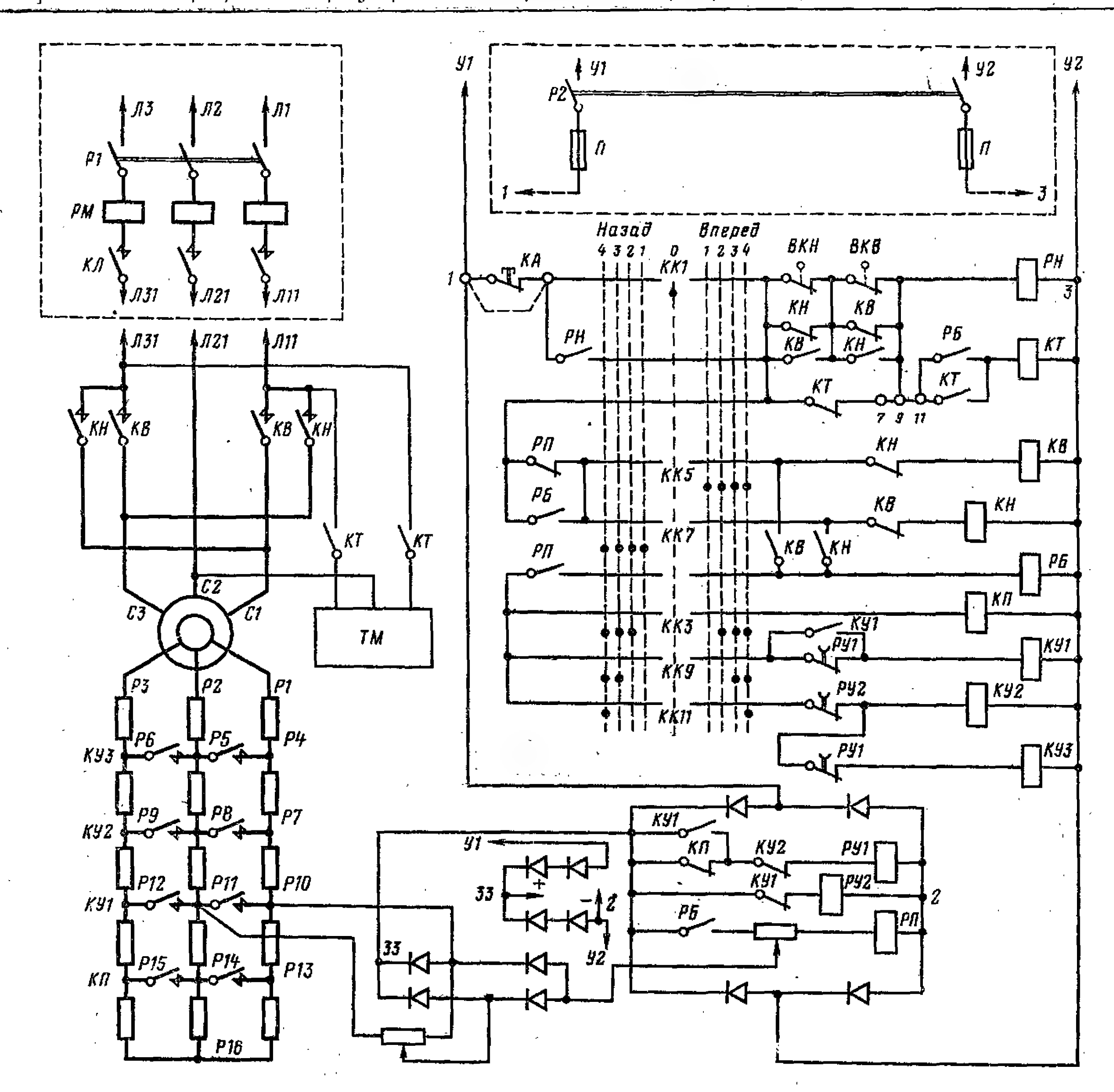


Рис. 9-10. Типовая схема магнитных контроллеров ТА и ТАЗ.

тактора *КТ1* и реле *РТ*. Реле *РТ* регулируется таким образом, что оно срабатывает при номинальном токе холодной катушки электромагнита *ТМ* при ПВ=25%.

На рис. 9-9 показан вариант схемы роторной цепи с параллельным включением резисторов для снижения тока в контактах контакторов, коммутирующих эти цепи. Такая схема включения применяется в контроллерах К 250.

Аналогично схеме ТА 160 построена схема магнитного контроллера ТАЗ 160 с защитой. В этом контроллере по сравнению с ТА 160 добавляются: рубильник главной цепи *Р1*, максимальное реле *РМ* и линейный контактор *КЛ*. Узел силовой цепи управления с указанными аппаратами показан на рис. 9-10 (обведен пунктирной линией).

В схему управления вводятся следующие изменения: размыкающие контакты реле *РМ* включаются в цепь катушки нулевого реле *РН*, последовательно с катушкой контактора *КЛ* включаются замыкающие контакты контакторов направления *КВ* и *КН*. Во всех схемах магнитных контроллеров *ТА* и *К* контакторы направления *КВ* и *КН* механически между собой сблокированы, что исключает их одновременное включение. В контроллерах *ТА* предусмотрена также и электрическая блокировка между этими контакторами.

Схемы двухдвигательных (дуплексных) контроллеров типа ДТА и ДК по построению выполняются аналогично рассмотренным схемам контроллеров типа ТА и К.

На рис. 9-12, *а* показана принципиальная схема магнитного контроллера ДК 63, в которой предусмотрены общие реверсивные контакторы в цепи статоров обоих двигателей. С общим реверсором выполняются и контроллеры ДТА 160. Контроллеры ДК 160 и ДК 250 имеют независимые реверсивные контакторы для каждого из двигателей.

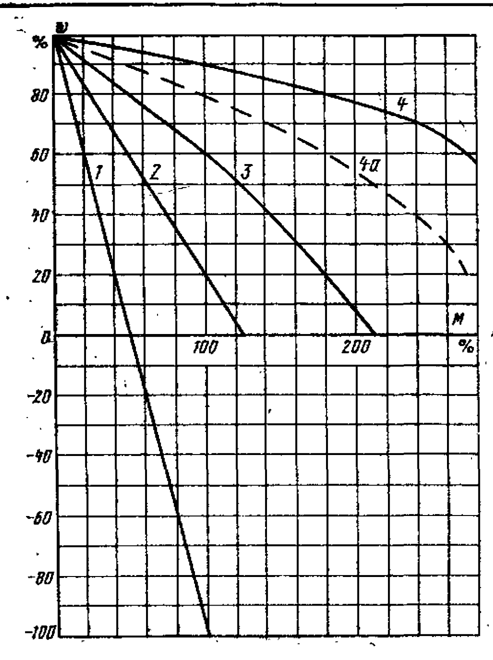


Рис. 9-11. Механические характеристики электроприводов с магнитными контроллерами К и ТА. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р4* — 5; *Р4—Р7* — 10; *Р7—Р10* — 20; *Р10—Р13* — 40; *Р13—Р16* — 120; для контроллеров К 63 и ТА 161 (при мощности двигателей до 30 кВт) предусматривается разбивка: *Р1—Р4* — 15; *Р4—Р7* — 20; *Р7—Р10* — 40; *Р10—Р13* — 120. Данные указаны на одну фазу.

Рис. 9-12. Схема магнитного контроллера ДК 63.

Во всех указанных магнитных контроллерах, кроме ДТА 160, в котором в роторных цепях используются не по два контактора, а по одному четырехполюсного исполнения, катушки контакторов одного назначения включаются параллельно друг другу. Для возможности кратковременной работы привода в случае выхода из строя одного из двигателей предусматривается переключатель *ПУ* на три цепи (переключается узел реле *РП* и реле *РН*) в контроллерах с общим реверсором и пять цепей (переключаются узлы реле *РП*, нулевой защиты и тормозных магнитов переменного тока) в контроллерах с раздельными реверсорами.

Контроллеры ДК 62 и ДТА 162 с кнопочным управлением имеют такое же построение главной цепи и цепи управления, как и контроллеры соответственно ДК 63 и ДТА 160. Отличие заключается в том, что при кнопочном управлении не применяется режим торможения противовключением под контролем реле РП. Поэтому в контроллерах ДК 62 и ДТА 162 нет необходимости в применении переключателя *ПУ*. Контроллеры ДК 61 и ДТА 161, применяемые для укомплектования многодвигательных приводов (при числе двигателей больше двух и кратном двум), имеют силовую цепь, полностью аналогичную силовым цепям контроллеров соответственно ДК 63 и ДТА 160.

На рис. 9-12, *б* показана схема управления контроллера ДК 61. Такая же схема и для ДТА 161. Для обеспечения функционирования многодвигательного привода необходимо, чтобы выводы цепи управления магнитных контроллеров ДК 61 (ДТА 161) были соединены с одноименными выводами контроллеров ДК 63 (ДТА 160) или ДК 62 (ДТА 162). При этом количество контроллеров ДК 61 (ДТА 161), которые могут быть подключены к основной схеме, определяется допустимой нагрузкой реверсоров контроллеров ДК 63, ДК 62 и ДТА 160, ДТА 162, выполняемых на номинальные токи 63 А (ДК 63 и ДК 62) и на 160 А (ДТА 160, ДТА 162 и модификации ДК 63 и ДК 62, у которых в роторной цепи использованы контакторы на 63 А).

Таблица 9-1

Комплекты электропроводов при управлении от кулачковых контроллеров типа ККТ 61А и ККТ 62А

Тип двигателя	Мощность статической нагрузки $P_с$, кВт, для механизма подъема в режимах работы			Мощность статической нагрузки, переключения $P_с/P_{пер}$, кВт, для механизмов передвижения в режимах работы			Пускорегулирующие резисторы		
	Л	С	Т	Л	С	Т	Тип	Каталожный номер	Количество
MTF011-6	—	—	—	1,1/2,0	0,9/1,7	0,5/1,4	НФ 11А или НК 1А	2ТД.750.020-11 2ТД.750.024-01	1 1
MTF012-6	—	—	—	1,65/3,1	1,45/2,7	0,75/2,2			
MTF111-6 MTH111-6	—	—	—	2,6/4,5	2,3/4,1	1,25/3,5			
MTF112-6 MTH112-6				3,75/6,5	3,2/5,8	1,75/5	НФ 11А или НК 1А	2ТД.750.020-91 2ТД.750.024-02	1 1
MTF211-6 MTF311-8 MTH211-6 MTH311-8	10,8	9,0	7,1	5,6/10,5	4,8/9,0	2,6/7,5	НФ 11А или НК 1А	2ТД.750.020-72 2ТД.750.024-02	1 1
MTF311-6 MTF312-8 MTH311-6 MTH312-8	16,0	13,2	10,5	8,3/14,0	7,2/13,0	3,9/11,0	НФ 1А НФ 11А или НФ 2А	2ТД.754.054-17 2ТД.752.020-88 2ТД.754.055-37	1 1 1
MTF312-6 MTF411-8 MTH312-6 MTH411-8	21,7	18,0	12	11,3/19,5	9,8/17,5	5,3/12,0	НФ 1А НФ 11А или НФ 2А	2ТД.754.054-16 2ТД.754.020-12 2ТД.754.055-37	1 1 1
MTF411-6 MTF412-8 MTH411-6 MTH412-8	32,0	—	—	16,5/30,0	14,3/27,0	—	НФ 1А НФ 11А или НФ 2А	2ТД.754.054-19 2ТД.754.020-15 2ТД.754.055-36	1 1 1
MTF412-6 MTH412-6	36,0	—	—	22,5/36,0	—	—	НФ 2А	2ТД.754.055-36	1

Примечания: 1. Схемы электроприводов с контроллерами ККТ 61А и ККТ 62 представлены соответственно на рис. 9-1 и 9-2, механические характеристики — на рис. 9-4.

2. При управлении от кулачкового контроллера ККТ 62А число ящиков резисторов удваивается.

3. Контроллер ККТ 62А комплектуется реверсором ТР 160.

4. Мощности статической нагрузки и переключения двигателей MTF(H)312=6 и MTF(H)411=8 в режиме работы Т и двигателей MTF(H)412=6 в режиме Л указаны по предельному току контроллера.

Таблица 9-2

Комплекты электроприводов при управлении от кулачковых контроллеров типа ККТ 68А с реверсором ТР 160

Тип двигателя	Мощность статической нагрузки $P_с$, кВт, для механизма подъема в режимах работы			Мощности статической нагрузки и переключения $P_с/P_{пер}$, кВт, для механизмов передвижения в режимах работы			Пускорегулирующие резисторы			
	Л	С	Т	Л	С	Т	Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
МТF412-6 МТН412-6 МТН511-8	43,5	36	28,6	22,5/40,0	19,5/36,0	10,5/30	НФ 1А	2ТД.754.054-11 2ТД.754.054-12	3 3	Отд. 362.649
МТН512-8	53,5	45	35	27,5/49,5	24,0/45,0	12,8/37,0	НФ 1А	2ТД.754.054-11 2ТД.754.054-12	3 3	Отд. 362.649
МТН512-6	80	66	52	—	—	—	НФ 1А	2ТД.754.054-12	6	Отд. 362.755
МТН611-10	65	54	42,5	33,7/58,3	29,2/53,0	15,7/45,0	НФ 3А	2ТД.754.057-18	1	—

Примечание. Схемы электроприводов показаны на рис. 9-3; механические характеристики — на рис. 9-4.

Контроллеры серии ТА имеют нулевую защиту (реле *РН*) и конечную, осуществляемую выключателями *ВКВ* и *ВКН*. Максимальная защита в этих контроллерах вынесена на защитную панель. Контроллеры серии К и ТАЗ имеют нулевую, максимальную и конечную защиты. Максимальная защита настраивается на срабатывание при токе, равном 250% номинального.

Схемы всех магнитных контроллеров с защитой обеспечивают возможность световой сигнализации о работе приводов. С этой целью в магнитных контроллерах предусмотрены замыкающие контакты реле *РП* (выводы *101—103*), предназначенные для коммутирования цепей сигнализации.

в) Таблицы основных технических данных комплектных электроприводов

Технические данные электроприводов с силовыми кулачковыми контроллерами приведены в табл. 9-1 и 9-2. В табл. 9-3—9-6 приведены данные комплектных электроприводов механизмов подъема, а в табл. 9-7 — аппаратуры управления к ним; в табл. 9-8—9-10 приведены данные электроприводов механизмов передвижения при управлении от магнитных контроллеров, а в табл. 9-11 — аппаратуры управления к ним. Для электроприводов с кулачковыми контроллерами значения мощностей статической нагрузки и переключения рассчитаны только для режимов Л, С и Т, поскольку применение их в других режимах работы недопустимо. Для этих систем во всех указанных режимах работы используется один и тот же комплект пускорегулирующих резисторов. Однако резисторы имеют специальную ступень, которая выводится при их использовании в режимах Л и С. Благодаря этому значительно снижается количество типов резисторов для этих систем. С этой же целью для систем с магнитными контроллерами в режимах работы Л и С, ВТ и ОТ также используются одинаковые комплекты резисторов, соответствующие мощностям двигателей при ПВ=25 и 60%, а для режима Т — ПВ=40%.

В случаях комплектации резисторов стандартными ящиками в таблицах приведены номера схем их соединения. Каталожный номер пускорегулирующих резисторов включает в себя одиннадцать знаков. При этом первые шесть знаков 2ТД.754, являются общими и в табл. 9-3—9-6, 9-9, 9-10 не приведены, остальные пять знаков, зависящих от параметров резисторов, изменяются и приведены в табл. 9-3—9-6, 9-9, 9-10. Номер схемы соединений резисторов включает в себя девять знаков, при этом первые шесть знаков ОТД.362. являются общими и в таблицах не приведены. Сами схемы соединения приведены в каталогах на крановые пускорегулирующие резисторы.

Как было сказано выше, магнитные контроллеры выполняются по схемам с защитой от токов перегрузки или же эта защита вынесена на отдельную защитную панель, так же как и при построении схем с силовыми кулачковыми контроллерами. При этом настройка максимальных реле зависит от режима работы и составляет 2,5 $I_{н25}$ для режимов Л; 2,3$I_{н25}$ — для режима С; 2,5$I_{н40}$ — для режима Т; 2,5$I_{н60}$ и 2,3$I_{н60}$ — соответственно для режимов ВТ и ОТ, где $I_{н25}$, $I_{н40}$ и $I_{н60}$ номинальные токи двигателя для режимов ПВ=25, 40 и 60%. Остальные пояснения к таблицам даны в примечаниях к ним.

Следует отметить, что в последнее время для комплектации крановых электроприводов выпускаются пульты управления, а также устройства дистанционного управления по радиоканалам. В этих случаях состав комплекта изменяется по сравнению с приведенным в таблицах.

9-2. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ МЕХАНИЗМОВ ПОДЪЕМА С ДИНАМИЧЕСКИМ ТОРМОЖЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

а) Особенности построения электроприводов. Область применения

Применение динамического торможения вместо торможения противовключением в электроприводах с регулированием сопротивления в цепи ротора двигателей, рассмотренных в § 9-1, позволяет значительно улучшить их регулировочные и энергетические показатели. При этом наиболее целесообразным оказалось применение

Таблица 9-3

Комплекты электроприводов механизмов подъема при управлении от магнитных контроллеров на токи до 90 А

Режим работы	Мощности статической нагрузки $P_с$, пускорегулирующие резисторы для крановых двигателей в различных режимах работы																				
	$P_с$, кВт, для двигателей MTF311-6 MTF312-8 MTH311-6 MTH312-8	$P_с$, кВт, для двигателей MTF312-6 MTF411-8 MTH312-6 MTH411-8	Пускорегулирующие резисторы			$P_с$, кВт, для двигателей MTF411-6 MTF412-8 MTH411-6 MTH412-8	$P_с$, кВт, для двигателей MTF412-6 MTH412-6 MTH512-8	Пускорегулирующие резисторы				$P_с$, кВт для двигателя MTH512-8	Пускорегулирующие резисторы				$P_с$, кВт, для двигателя MTH512-6	Пускорегулирующие резисторы			
			Тип	Каталожный номер	Количество			Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л	16,0	21,8	НФ 4А	058-20	1	32,0	40,0	НФ 4А	058-20	1	—	37	НФ 1А	054-08 054-11 054-12	3 3 1	507	41,0	НФ 1А	054-06 054-08 054-10 054-12	3 3 3 1	749
С	13,2	18,0				26,4	36,0														
Т	10,4	14,2	НФ 3А	057-60	1	21,0	28,6	НФ 4А	058-20	1	—	35,0	НФ 1А	054-08 054-11 054-12	3 3 1	507					
ВТ	8,2	11,2	НФ 3А	057-68	1	16,5	22,8	НФ 1А	054-09	3	505	27,7	НФ 1А	054-09	3	505	25,0	НФ 4А	058-20	1	—
ОТ	5,0	6,8				10,0	13,5		054-12	4		16,5		054-12	4						

Примечание. Мощности статической нагрузки двигателей МТН512-8 в режимах Л и С и МТН512-6 в режимах Л, С, Т и ВТ указаны по предельному току магнитного контроллера.

Таблица 9-4

Комплекты электроприводов механизмов подъема при управлении от магнитных контроллеров на токи от 90 до 200 А

Режим работы	Мощности статической нагрузки $P_с$, пускорегулирующие резисторы для крановых двигателей в различных режимах работы																								
	$P_с$, кВт, для двигателя MTH512-8	Пускорегулирующие резисторы				$P_с$, кВт, для двигателя MTH512-6	Пускорегулирующие резисторы				$P_с$, кВт, для двигателя MTH611-10	Пускорегулирующие резисторы				$P_с$, кВт, для двигателя MTH611-6	Пускорегулирующие резисторы				$P_с$, кВт, для двигателя MTH612-10	Пускорегулирующие резисторы			
		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схемы соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схемы соединений
Л	53,5	НФ 1А	054-06 054-07 054-11	3 3 3	841	80,0	НФ 1А	054-07 054-08 054-09	3 3 3	751	65,0	НФ 1А	054-06 054-07 054-09	6 3 2	756	98,0	НФ 1А	054-05 054-06 054-07	3 3 3	740	84,0	НФ 1А	054-05 054-06 054-07	3 3 3	740
С	45,0					66,0					54,0					93,5					75,0				
Т	—	—	—	—	—	52,0	НФ 1А	054-06 057-07 054-11	3 3 3	249	42,5	НФ 1А	054-05 054-07 054-09	3 3 1	266	71,0	НФ 1А	054-05 054-07 054-09	6 3 2	309	57,0	НФ 1А	054-06 054-07 054-08	3 3 2	311
ВТ	—	—	—	—	—	41,5	НФ 4А	058-20	1	—	38,0	НФ 1А	054-06 054-08 054-10	3 3 1	304	56,0	НФ 1А	054-03 054-05 054-06 054-09	3 3 6 2	299	45,0	НФ 1А	054-05 054-06 054-09	3 3 3	236
ОТ	—	—	—	—	—						25,0					34,0					30,0				

Примечание. Мощность статической нагрузки двигателя МТН611-6 в режиме Л указана по предельному току магнитного контроллера.

Таблица 9-5

Комплекты электроприводов механизмов подъема при управлении от магнитных контроллеров на токи от 200 до 320 А (при ограничении тока ротора до 280 А)

Мощности статической нагрузки $P_с$, пускорегулирующие резисторы для крановых двигателей в различных режимах работы

Режим работы	$P_с$, кВт, для двигателя МТН611-6	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений	$P_с$, кВт, для двигателя МТН612-6	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л	109,0	НФ 1А	054-05 054-06 054-07	3 3 3	740	135,5	НФ 1А	054-06 054-08 054-09	6 3 1	719
С	—	—		—	—	120,0				
Т	—	—	—	—	—	90,0	НФ 1А	054-02 054-05 054-06 054-07 054-09	3 3 3 3 3	539
ВТ	—	—	—	—	—	71,5	НФ 1А	054-04 054-06 054-08 054-10	3 3 3 1	310
ОТ	—	—	—	—	—	42,5				

Режим работы	$P_с$, кВт, для двигателя МТН613-10	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений	$P_с$, кВт, для двигателя МТН613-6	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л	109,0	НФ 1А	054-06 054-08 054-09	6 3 1	719	169,0	НФ 1А	054-03 064-05 054-06 054-07 054-09	3 3 3 3 3	760
С	98,5					148,0				
Т	71,0	НФ 1А	054-04 054-06 054-08 054-10	3 3 3 1	310	110,0	НФ 1А	054-04 054-06 054-07 054-08 054-10	3 3 3 2 2	761
ВТ	56,0	НФ 1А	054-07 054-08 054-09	3 3 3	306	81,0	НФ 1А	054-04 054-07 054-08 054-09 054-11	3 3 3 3 1	762
ОТ	34,0					48,5				

Режим работы	$P_с$, кВт, для двигателя МТН711-10	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л	110,0	НФ 1А	054-02 054-03 054-04 054-06 054-07	3 3 6 2 3	752
С					
Т	95,0	НФ 1А	054-03 054-04 054-05 054-07 054-08	3 3 3 2 3	576
ВТ	75,0	НФ 1А	054-03 054-05 054-06 054-09	3 3 6 2	539
ОТ	45,0				

Примечание. Мощность двигателя МТН711-10 в режимах работы Л и С указана по предельному току магнитного контроллера и может быть увеличена до значений соответственно 145 и 110 кВт при применении для коммутации роторных цепей контакторов на 250 А.

Таблица 9-6

Комплекты электроприводов механизмов подъема при управлении от магнитных контроллеров на токи от 320 А до 430 А (при ограничении тока ротора до 280 А)

Мощности статической нагрузки $P_с$, пускорегулирующие резисторы для крановых двигателей в различных режимах работы

Режим работы	$P_с$, кВт, для двигателя МТН712-10	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений	$P_с$, кВт, для двигателя МТН713-10	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л	140,0	НФ 1А	054-01 054-03 054-04 054-05 054-07	3 3 9 3 3	753	170,0	НФ 1А	054-02 054-03 054-04 054-05 054-07	3 6 9 3 3	754
С	140,0									
Т	118,5	НФ 1А	054-03 054-04 054-05 054-07 054-08	3 3 6 3 3	577	152,0	НФ 1А	054-03 054-04 054-05 054-07 054-08	3 3 9 3 3	578
ВТ	93,5	НФ 1А	054-03 054-05	3 3	299	95,0	НФ 1А	054-02 054-05 054-06 054-07 054-09	3 3 3 3 3	578
ОТ	56,5		054-06 054-09	6 2		—	—	—	—	—

Примечание. Мощности статической нагрузки двигателей МТН712-10 в режимах работы Л и С и МТН713-10 в режимах Л, С и ВТ указаны по предельному току магнитного контроллера. Мощность двигателя МТН712-10 в режимах Л и С может быть увеличена до 155 и 180 кВт, а двигателя МТН713-10 в тех же режимах — до 190 и 220 кВт при применении для коммутации роторных цепей контакторов на 250 А.

Таблица 9-7

Аппаратура управления комплектных электроприводов механизмов подъема

Исполнение по току	Исполнение по схеме	Род тока цепи управления	Тип магнитного контроллера	Механизм с крюком: Каталожный номер магнитного контроллера	Механизм с крюком: Тип командоконтроллера	Механизм с грейфером: Каталожный номер магнитного контроллера	Механизм с грейфером: Тип командоконтроллера
До 90 А	Без защиты	Переменный	ТСА 161	3ТД.622.018-06	КП 1263	3ТД.622.018-08	КП 1211 Д, КП 1212 Д
	С защитой		ТСАЗ 160	3ТД.622.010-11	КП 1263	3ТД.622.010-11	КП 1211 Д, КП 1212 Д
		Постоянный	КС 160 ДКС 160	3ТД.627.076-16 3ТД.627.076-22	КП 1264 МТ	3ТД.627.076-16 3ТД.627.076-22	КП 1211 ДМТ, КП 1212 ДМТ
От 90 до 200 А	Без защиты	Переменный	ТСА 161	3ТД.622.018-06	КП 1263	3ТД.622.018-08	КП 1211 Д, КП 1212 Д
	С защитой		ТСАЗ 160	3ТД.622.010-10	КП 1263	3ТД.622.010-10	КП 1211 Д, КП 1212 Д
		Постоянный	КС 160 ДКС 160	3ТД.627.076-13 3ТД.627.079-23	КП 1264 МТ	3ТД.627.076-13 3ТД.627.079-23	КП 1211 ДМТ, КП 1212 ДМТ
От 200 до 320	С защитой	Переменный	ТСАЗ 250	3ТД.622.017-15	КП 1265	3ТД.622.017-15	КП 1211 Д, КП 1212 Д
		Постоянный	КС 250 ДКС 250	3ТД.627.077-14 3ТД.627.080-22	КП 1264 МТ	3ТД.627.077-14 3ТД.627.080-22	КП 1211 ДМТ, КП 1212 ДМТ
От 320 до 430 А (при ограничении тока ротора до 280 А)	С защитой	Питание от выпрямителя	КС 400	3ТД.627.078-17	КП 1264 МТ	3ТД.627.078-17	КП 1211 ДМТ
		Постоянный	КС 400 ДКС 400	3ТД.627.078-12 3ТД.627.095-12	КП 1264 МТ	3ТД.627.078-12 3ТД.627.095-12	КП 1211 ДМТ

Примечания: 1. Схемы магнитных контроллеров показаны на рис. 9-5—9-7, механические характеристики — на рис. 9-8.
2. Управление магнитными контроллерами КС 400 и ДКС 400 от командоконтроллеров производится через промежуточные блоки БКП.

Таблица 9-8

Комплекты электроприводов механизмов передвижения при управлении от магнитных контроллеров на токи до 75 А

Мощности статической нагрузки $P_с$, кВт, и переключения $P_{пер}$, кВт, пускорегулирующие резисторы для крановых двигателей в различных режимах работы

Режим работы	$P_с/P_{пер}$ для двигателей MTF111-6, MTH111-6	$P_с/P_{пер}$ для двигателей MTF112-6, MTH112-6	$P_с/P_{пер}$ для двигателей MTF211-6, MTF311-8, MTH211-6, MTH311-8	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Пускорегулирующие резисторы: Каталожный номер	Пускорегулирующие резисторы: Количество	$P_с/P_{пер}$ для двигателей MTF311-6, MTF312-8, MTH311-6, MTH312-8	$P_с/P_{пер}$ для двигателей MTF312-6, MTF411-8, MTH312-6, MTH411-8	$P_с/P_{пер}$ для двигателей MTF411-6, MTF412-8, MTH411-6, MTH412-8	Пускорегулирующие резисторы: Тип	Пускорегулирующие резисторы: Каталожный номер	Пускорегулирующие резисторы: Количество
Л	2,6/4,5	3,8/6,5	5,6/10,5	НФ 22А	2ТД.750.021-09	1	8,3/14,0	11,3/19,5	16,5/30,0	НФ 4А	2ТД.754.058-02	1
С	2,3/4,1	3,3/5,8	4,9/9,0				7,2/13,0	9,8/17,5	14,3/27,0			
Т	12,5/3,5	1,8/5,0	2,6/7,5	НФ 22А или НК 2А	2ТД.750.021-03 2ТД.750.025-01	1 1	3,9/11,0	5,6/15,0	7,7/22,0	НФ 11А или НФ 3А	2ТД.750.020-18 2ТД.750.020-19 или 2ТД.754.057-58	1 1 1
ВТ	0,7/3,0	1,0/4,4	1,5/6,6	НФ 22А или НК 2А	2ТД.750.021-04 2ТД.750.025-02	1 1	2,2/10,0	3,0/13,2	4,4/19,8	НФ22 А или НК 2А	2ТД.750.021-05 или 2ТД.750.025-03	1 1
ОТ	0,35/2,8	0,5/4,0	0,75/6,0				1,1/9,0	1,5/12,0	2,2/18,0			

Таблица 9-9

Комплекты электроприводов механизмов передвижения при управлении от магнитных контроллеров на токи от 90 до 200 А

Режим работы	Мощности статической нагрузки P_c, кВт, и переключения $P_{пер}$, кВт, пускорегулирующие резисторы для крановых двигателей в различных режимах																			
	$P_c/P_{пер}$ для двигателей МТF412-6 МТН412-6 МТН511-8	Пускорегулирующие резисторы				$P_c/P_{пер}$ для двигателей МТН512-8	Пускорегулирующие резисторы				$P_c/P_{пер}$ для двигателей МТН611-10	Пускорегулирующие резисторы				$P_c/P_{пер}$ для двигателей МТН612-10	Пускорегулирующие резисторы			
		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л С	22,5/40,0 19,5/36,0	НФ 4А	058-02	1	—	27,5/49,5 24,0/45,0	НФ 4А	058-02	1	—	33,7/58,3 29,2/53,0	НФ 1А	054-03 054-06 054-10	3 3 2	757	45,0/77,0 39,0/70,0	НФ 1А	054-05 054-07 054-11	3 3 1	758
Т	10,5/30,0	НФ 3А	057-19	1	—	12,8/37,0	НФ 1А	054-08 054-12	3 3	506	15,7/45,0	НФ 1А	054-05 054-08	3 3	305	21,0/60,0	НФ 1А	054-06 054-12	3 2	318
ВТ ОТ	6,0/27,5 3,0/25,0	НФ 3А	057-67	1	—	7,4/34,0 3,7/31,0	НФ 1А	054-09 054-12	3 3	499	9,0/39,6 4,5/36,0	НФ 1А	054-06 054-12	3 2	318	12,0/53,0 6,0/48,0	НФ 1А	054-07 054-08 054-12	3 3 1	319

Таблица 9-10

Комплекты электроприводов механизмов передвижения при управлении от магнитных контроллеров на токи от 200 до 320 А

Режим работы	Мощности статической нагрузки P_c, кВт, и переключения $P_{пер}$, кВт, пускорегулирующие резисторы крановых двигателей в различных режимах работы									
	$P_c/P_{пер}$ для двигателя МТН613-10	Пускорегулирующие резисторы				$P_c/P_{пер}$ для двигателя МТН711-10	Пускорегулирующие резисторы			
		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений		Тип	Каталожный номер	Количество	Схема соединений
Л С	56,0/99,0 48,5/90,0	НФ 1А	054-03 054-06 054-07 054-11	3 3 3 1	759	57,0/110,0	НФ 1А	054-01 054-04 054-05 054-06	6 3 6 3	763
Т	26.7/75,0	НФ 1А	054-07 054-08 054-12	3 3 1	319	35,0/100,0	НФ 1А	054-03 054-05 054-06 054-07	3 3 6 3	608
ВТ ОТ	15,0/66,0 7,5/60,0	НФ 1А	054-07 054-12	3 3	307	20,0/88,0 10,0/80,0	НФ 1А	054-03 054-06 054-11	3 3 1	321

Примечание. Мощности статической нагрузки и переключения двигателя МТН711-10 в режимах Л и С указаны по предельному току магнитного контроллера и могут быть увеличены соответственно по статической мощности до значений 65 и 78 кВт и по мощности переключения до значений 65 и 75 кВт при применении для коммутации роторных цепей контакторов на 250 А.

Таблица 9-11

Аппаратура управления комплектных электроприводов механизмов передвижения

Исполнение по току	Исполнение по схеме	Исполнение по роду тока цепи управления	Тип	Каталожный номер магнитного контроллера	Тип командоконтроллера
До 90 А	Без защиты	Переменный	ТА 161 ДТА 160	3ТД.621.013-02 3ТД.621.014-04	КП 1226
			ДТА 162 ДТА 161	3ТД.621.015-04 3ТД.621.016-04	Кнопочное управление —
			ТАЗ 160	3ТД.621.010-04	КП 1226
	С защитой	Постоянный	К 63 ДК 63	3ТД.627.037-04 3ТД.627.045-02	КП 1226 МТ
			ДК 62 ДК 61	3ТД.627.048-04 3ТД.627.047-01	Кнопочное управление —
От 90 до 200А	Без защиты	Переменный	ТА 161 ДТА 161	3ТД.621.009-02 3ТД.621.014-04	КП 1226
			ДТА 162 ДТА 161	3ТД.621.015-04 3ТД.621.016-04	Кнопочное управление —
			ТАЗ 160	3ТД.627.010-02	КП 1226
	С защитой	Постоянный	К 160 ДК 160	3ТД.627.072-02 3ТД.627.074-02	КП 1226 МТ
От 200А до 320А		Постоянный	К 250 ДК 250	3ТД.627.073-02 3ТД.627.075-04	КП 1226

Примечания: 1. Магнитный контроллер ДТА 161 комплектуется только с магнитными контроллерами ДТА 160 или ДТА 162, а ДК 61 с магнитными контроллерами ДК 63 или ДК 62.

2. Схемы магнитных контроллеров показаны на рис. 9-9, 9-10 и 9-12, а механические характеристики — на рис. 9-11.

Таблица 9-12

Комплекты электроприводов механизмов подъема при управлении кулачковыми контроллерами типа ККТ 69 с реверсором ТР 160 и магнитным контроллером ТРД 160

Тип двигателя	Мощность статической нагрузки $P_с$, кВт, в режиме работы			Пускорегулирующие резисторы		
	Л	С	Т	Тип	Каталожный номер	Количество
MTF412-6	45,0	39,0	33,0	НФ 1А	2ТД 754.054-87	1
MTH412-6				НФ 11А	2ТД 754.048-03	1
MTH511-8						
MTH512-8	55,4	48,0	40,6	НФ 1А	2ТД 754.054-92	3
				НК 1А	2ТД 750.024-47	1
MTH512-6	82,5	71,5	60,5	НФ 1А	2ТД 754.054-93	3
				НК 1А	2ТД 750.024-47	1

Примечание. Схема электроприводов представлена на рис. 9-14, механические характеристики — на рис. 9-15.

Таблица 9-13

Комплекты электроприводов механизмов подъема при управлении кулачковыми контроллерами типа ККТ 65А и магнитными контроллерами ТРД 160

Тип двигателя	Мощность статической нагрузки $P_с$, кВт, при режимах работы			Пускорегулирующие резисторы		
	Л	С	Т	Тип	Каталожный номер	Количество
MTF211-6 MTF311-8 MTH211-6 MTH311-8	11,2	9,7	8,2	НФ 11А или НК 1А	2ТД.750.020-99 2ТД.750.024-48	1 1
MTF311-6 MTF312-8 MTH311-6 MTH312-8	16,5	14,3	12,1	НФ 1А НФ 11А	2ТД.754.054-90 2ТД.754.048-08	1 1
MTF312-6 MTF411-8 MTH312-6 MTH411-8	22,2	19,5	12,0	НФ 1А НФ 11А	2ТД.754.054-86 2ТД.750.020-11	1 1
MTF411-6 MTF412-8 MTH411-6 MTH412-8	33,0	—	—	НФ 1А НФ 11А или НК 1А	2ТД.754.054-90 2ТД.754.048-08 2ТД.750.024-46	1 1 1
MTF412-6 MTH412-6 MTH511-8	36,0	—	—	НФ 1А НФ 11А	2ТД.754.054-87 2ТД.754.048-03	1 1

Примечания: 1. Схема электроприводов представлена на рис. 9-13, механические характеристики — на рис. 9-14.

2. Мощность статической нагрузки двигателей MTF(H)312-6 и MTF(H)411-8 в режиме Т и двигателей MTF(H)412-6 в режиме Л указана по предельному току контроллера.

при построении указанных электроприводов режима динамического торможения с самовозбуждением.

Принципы построения ряда электроприводов аналогичны описанным в предыдущем параграфе, однако рассматриваемые электроприводы выполняются только для подъемных механизмов, поскольку, как известно, применение динамического торможения для получения пониженных скоростей более эффективно при активном моменте статической нагрузки.

Полностью идентичным рассмотренному ранее является построение ряда электроприводов по диапазону мощностей, разделению их между силовыми и магнитными контроллерами с учетом режимов работы и составу комплекта, хотя использование двигателей по допустимой статической нагрузке выше благодаря лучшим энергетическим свойствам применяемого метода торможения.

Однако имеется ряд существенных особенностей, вызванных применением динамического торможения и приводящих к усложнению схем электроприводов:

1) обмотка ротора двигателя должна быть замкнута на трехфазный выпрямительный мост;

2) необходим источник для подпитки обмотки статора постоянным током. Ток подпитки, а следовательно, мощность и построение блока подпитки зависят от параметров цепи ротора (см. § 7-5);

3) необходимо обеспечить контроль наличия тока подпитки и работы силовых вентилей выпрямительного моста;

4) должен быть обеспечен автоматический разгон электропривода на характеристиках двигательного режима (в III квадранте) при работе в направлении спуска груза, поскольку при малых нагрузках двигатель может не разогнаться на характеристиках динамического торможения;

5) коммутация роторных цепей может осуществляться как на стороне переменного, так и на стороне выпрямленного тока (за мостом). Однако в последнем случае применение контакторов с приводом на переменном токе недопустимо. При коммутации роторных цепей на стороне переменного тока в симметричных схемах необходимо применение трехполюсных контакторов.

Указанные особенности приводят к следующим отличиям построения электроприводов с динамическим торможением от систем с противовключением:

1) электроприводы с кулачковыми контроллерами комплектуются дополнительным магнитным контроллером ТРД 160, на котором установлены силовые вентили и релейно-контакторная аппаратура, обеспечивающие работу системы с учетом указанных особенностей;

2) системы с магнитными контроллерами выполняются в двух исполнениях: с цепями управления переменного тока типа ТСД и контакторами КТ 6000 для грузоподъемных механизмов, для режимов работы Л, С, Т; с цепями управления постоянного тока КСДБ для механизмов режима работы ВТ (в основном грейферные механизмы) на основе контакторов с бестоковой коммутацией типа КТП. Применение бестоковой коммутации позволяет увеличить износостойкость контактов контроллеров.

Разделение схем по исполнению защиты такое же, как для систем с противовключением, однако для всех типов магнитных контроллеров с защитой завод-изготовитель не устанавливает катушки максимальных реле. Диапазон регулирования скоростей электроприводов с силовыми контроллерами составляет выше 4:1, а для систем с магнитными контроллерами свыше 8:1.

Следует отметить, что благодаря наличию устойчивых посадочных скоростей в таких электроприводах значительно снижается число включений привода при осуществлении доводочных операций и тем самым снижается напряженность режима его работы.

Область применения рассматриваемых электроприводов — подъемные механизмы крановых устройств, на которых в настоящее время используются системы с противовключением, за исключением тех случаев, когда применение более сложных систем оказывается не эффективным и не вызывается предъявляемыми к ним требованиями.

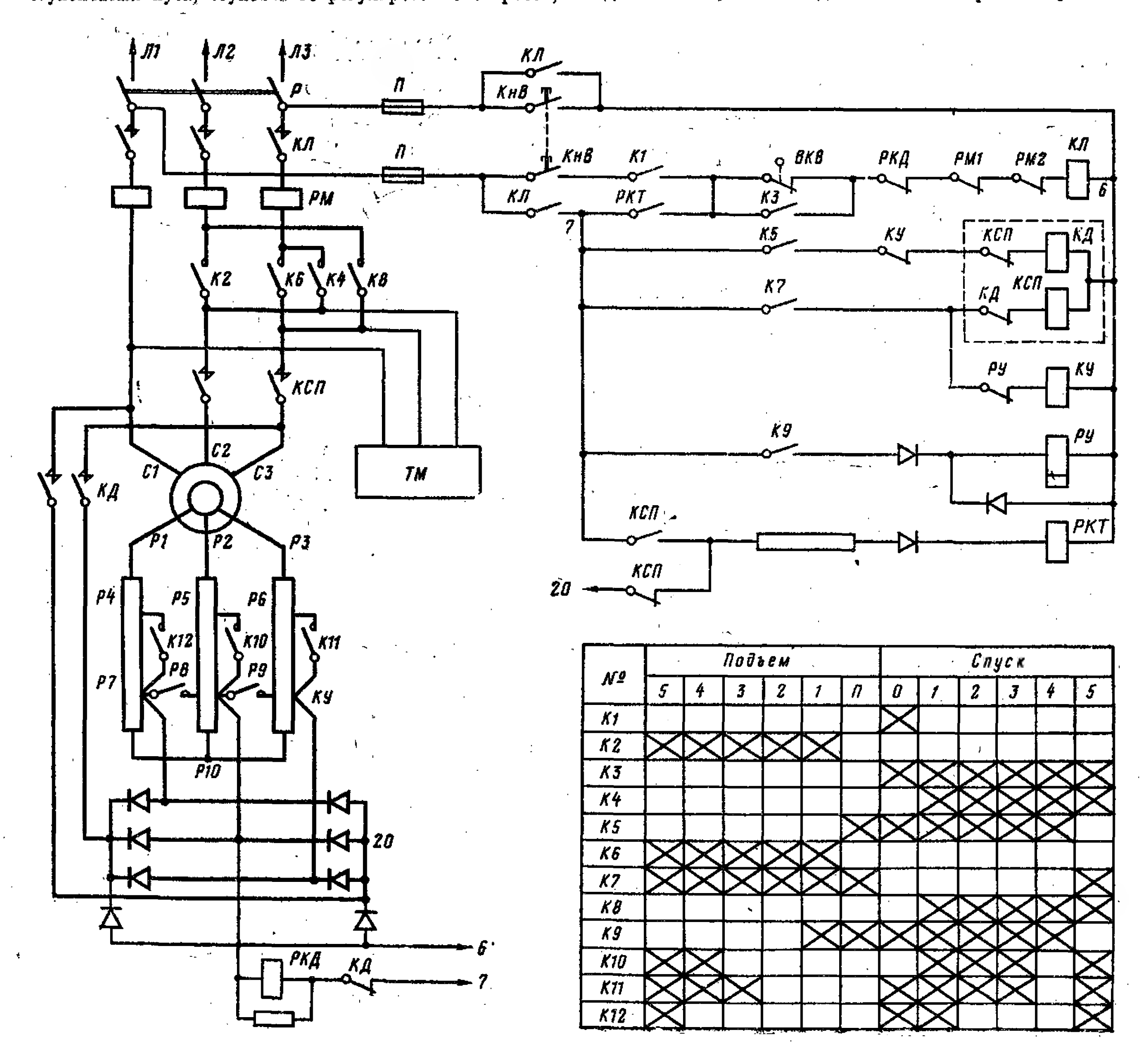
б) Схемы электроприводов

Схемы кулачковых контроллеров ККТ 65А и ККТ 69А. Принципиальные схемы контроллеров ККТ 65А и ККТ 69А приведены соответственно на рис. 9-13 и 9-14, а механические характеристики на рис. 9-15.

Контроллеры ККТ 65А и ККТ 69А обеспечивают ступенчатый пуск, ступенчатое регулирование скорости, реверс и торможение. Контроллеры имеют по пять (ККТ 65А) и четыре (ККТ 69А) фиксированных положения для каждого направления движения и одно фиксированное нулевое положение. На рис. 9-15 характеристики для ККТ 69А обозначаются индексами со штрихом. Включение цепи управления производится кнопками включения *КнВ*.

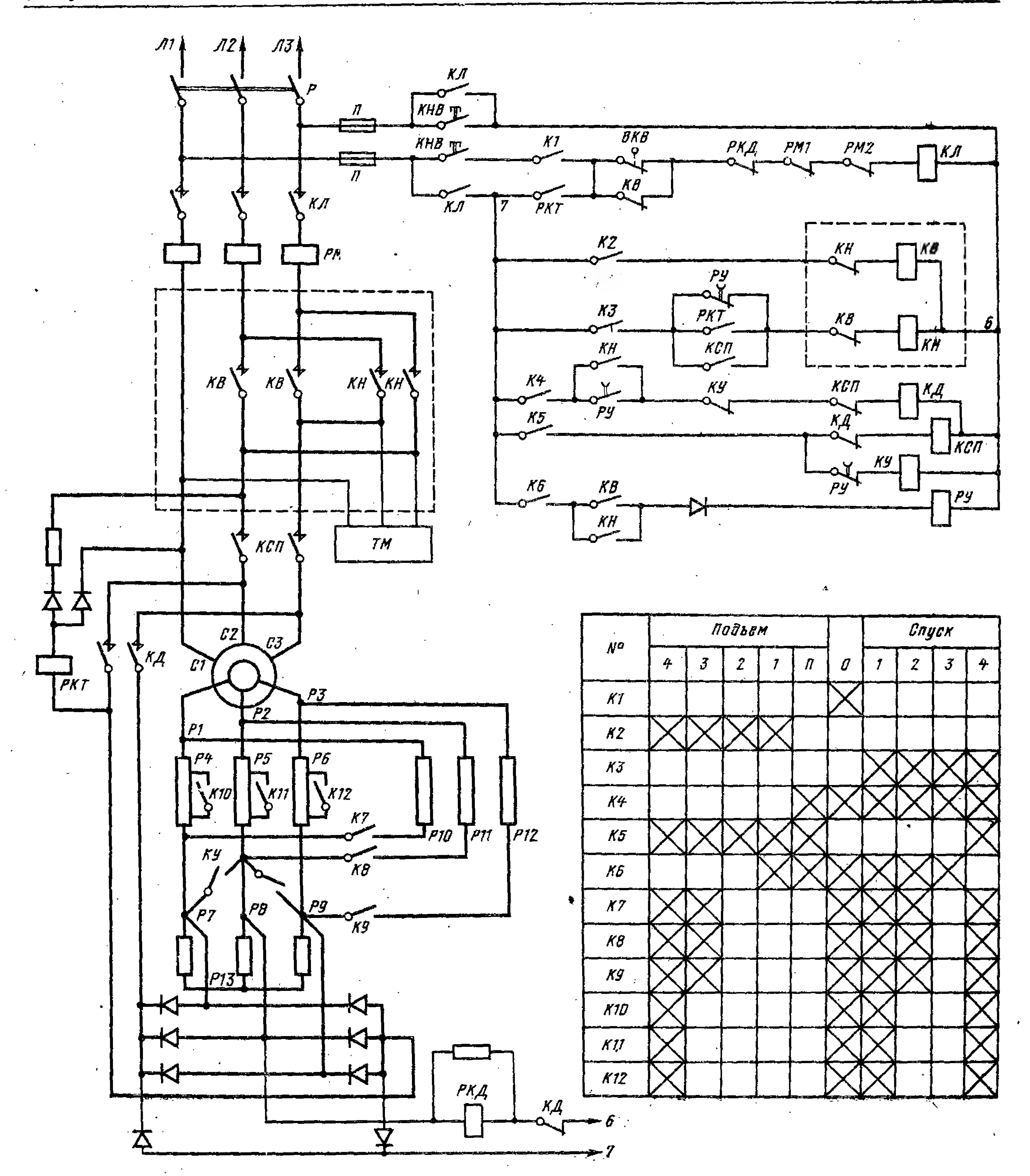
Регулирование скорости по ступеням осуществляется: в сторону подъема (так же как и в контроллерах ККТ 61А) путем простого изменения сопротивления резисторов в цепи ротора, в сторону спуска — путем изменения сопротивления в цепи ротора двигателя, работающего в режиме динамического торможения с самовозбуждением.

Принцип динамического торможения с самовозбуждением основан на подключении статора электродви-



№	Подъем 5	Подъем 4	Подъем 3	Подъем 2	Подъем 1	Подъем П	Спуск 0	Спуск 1	Спуск 2	Спуск 3	Спуск 4	Спуск 5
К1							X					
К2	X	X	X	X	X							
К3							X	X	X	X	X	X
К4								X	X	X	X	X
К5						X	X	X	X	X	X	
К6	X	X	X	X	X							
К7	X	X	X	X	X	X						X
К8								X	X	X	X	X
К9					X	X	X	X	X	X	X	
К10	X	X						X	X	X		X
К11	X	X	X				X	X	X	X		X
К12	X						X	X				X

Рис. 9-13. Схема кулачкового контроллера ККТ 65 А.



№	Подъем 4	Подъем 3	Подъем 2	Подъем 1	Подъем П	0	Спуск 1	Спуск 2	Спуск 3	Спуск 4
К1						X				
К2	X	X	X	X						
К3							X	X	X	X
К4					X	X	X	X	X	X
К5	X	X	X	X	X					X
К6				X	X	X	X	X	X	
К7	X	X				X	X	X		X
К8	X	X				X	X	X		X
К9	X	X				X	X	X		X
К10	X					X	X			X
К11	X					X	X			X
К12	X					X	X			X

Рис. 9-14. Схема кулачкового контроллера ККТ 69 А.

гателя к выпрямленному напряжению ротора. От обычной схемы динамического торможения система с самовозбуждением отличается автоматической зависимостью тока возбуждения от нагрузки электродвигателя, а также отсутствием понизительного трансформатора.

Электроприводы, выполненные с применением контроллеров ККТ 65А и ККТ 69А, отличаются сравнительно высокими энергетическими показателями, поскольку

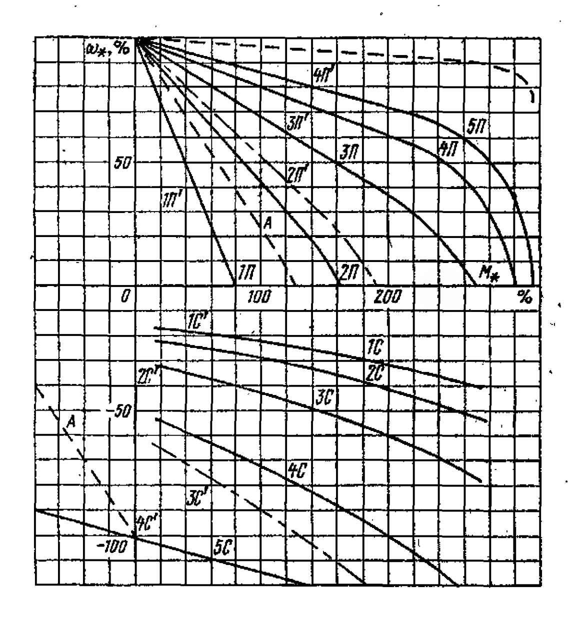


Рис. 9-15. Механические характеристики электроприводов с кулачковыми контроллерами ККТ 65А и ККТ 69А. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): для ККТ 65А — *Р1—Р4, Р2—Р5, Р3—Р6* — 10; *Р4—Р7; Р5—Р8* — 30; *Р6—Р9* — 74; *Р7—Р10, Р8—Р10, Р9—Р10* — 60 (контроллер ККТ 65А); *Р1—Р4, Р2—Р5, Р3—Р6—16; Р1—Р10, Р2—Р11, Р3—Р12* — 40; *Р4—Р7, Р5—Р8, Р6—Р9* — 30; *Р7—Р13, Р8—Р13, Р9—Р13* — 74 (контроллер ККТ 69А).

в режиме динамического торможения с самовозбуждением из сети потребляется незначительная энергия. В первую очередь это относится к контроллеру ККТ 65А, у которого для обеспечения начального подмагничивания электродвигателя требуется ток подпитки, равный 3—5% номинального тока двигателя. В контроллерах ККТ 69А ток подпитки составляет 25—30% номинального. Это вызвано тем, что указанные контроллеры применяются для управления двигателями серии MTF, MTH большей мощности, отличающихся худшей способностью самовозбуждаться.

В схеме контроллера ККТ 65А для повышения надежности работы привода начальное подмагничивание производится на нулевом положении контроллера при включенном линейном контакторе *КЛ* защитной панели ПЗКБ. Выпрямленный ток подпитки протекает по цепи: фаза *Л2*, контакты контактора *КД* (выводы *20*) и цепь катушки реле *РКТ*. Реле *РКТ* предназначено для контроля тока в контуре подпитки. В схеме контроллера ККТ 69А узел с реле *РКТ*, введенный в силовую цепь двигателя, отключается на нулевом положении контактором *КД* в целях снижения потерь в контуре подпитки. Отключение контактора *КД* происходит не сразу, а с выдержкой времени, определяемой реле *РУ*. Такая задержка требуется для обеспечения динамического торможения при остановке привода.

Схема узла динамического торможения выполнена с последовательным соединением выпрямительного моста и пускорегулировочных резисторов, которые включены на стороне переменного тока.

Особенностью схемы узла динамического торможения является потенциометрическое включение выпрямительного моста с пускорегулировочными резисторами, при котором входное сопротивление моста на порядок ниже сопротивлений нерегулируемых ступеней резисторов *Р10—Р7, Р8, Р9* (ККТ 65А) и *Р13—Р7, Р8, Р9* (ККТ 69А). Благодаря этому, с одной стороны, контур переменного тока замкнут на всех положениях, что значительно повышает надежность системы, а с другой — достигается постоянство коэффициента компаундирования, равного отношению тока возбуждения (тока подпитки) к току ротора.

Применение узла динамического торможения с самовозбуждением позволяет получить достаточно жесткие механические характеристики на спуске, обеспечивающие устойчивые посадочные скорости, что является важным достоинством применительно к механизмам подъема кранов. Режим динамического торможения реализуется на всех положениях спуска, кроме последнего, на котором двигатель работает от сети с невыключаемыми ступенями резисторов в цепи ротора, необходимость в которых определяется условиями обеспечения нормальных пусков при заданном числе ступеней.

Особенностью построения схем электроприводов на положениях подъема является наличие промежуточного нефиксированного положения *П* между нулевым и первым положениями, предусмотренное для исключения состояния, при котором могут быть одновременно отключены контакторы *КД* и *КСП*, что опасно, поскольку при отсутствии вращающего момента двигателя возможно падение груза. Для исключения этого состояния схемы требуется, чтобы контакт *К7* при переводе контроллера из нулевого в первое положение замыкался раньше, чем разомкнется контакт *К5*. Контакторы *КД* и *КСП* электрически и механически сблокированы между собой, чтобы предотвратить возможность короткого замыкания в случае их одновременного включения.

Отличие между контроллерами ККТ 65А и ККТ 69А заключается только в том, что в контроллерах ККТ 69А в целях возможности управления двигателями большей мощности включение двигателя и изменение направления его вращения осуществляется не контактами контроллера, как в ККТ 65А (контакты *К2, К4, К6, К8*), а контакторами *КВ* и *КН* реверсора ДР 160. С этой же целью в контроллере ККТ 69А предусмотрено включение роторных ступеней резисторов в две параллельные группы, что потребовало, однако, использования в цепи ротора шести контактных элементов (*К7—К12*) вместо трех (*К10—К12*) в контроллере ККТ 65А. А это предопределило в свою очередь (учитывая ограниченное количество кулачковых элементов) уменьшение числа положений в контроллере ККТ 69А.

Определенным достоинством контроллеров ККТ 65А и ККТ 69А перед контроллерами ККТ 61А, ККТ 62А и ККТ 68А является то, что они допускают автоматический разгон двигателя при постановке контроллера из нулевого сразу в крайние положения. В этом случае осуществляется двухступенчатый разгон — сначала по характеристике *А* (рис. 9-15), затем, после включения с выдержкой времени контактора *КУ* — по характеристике, соответствующей крайним положениям.

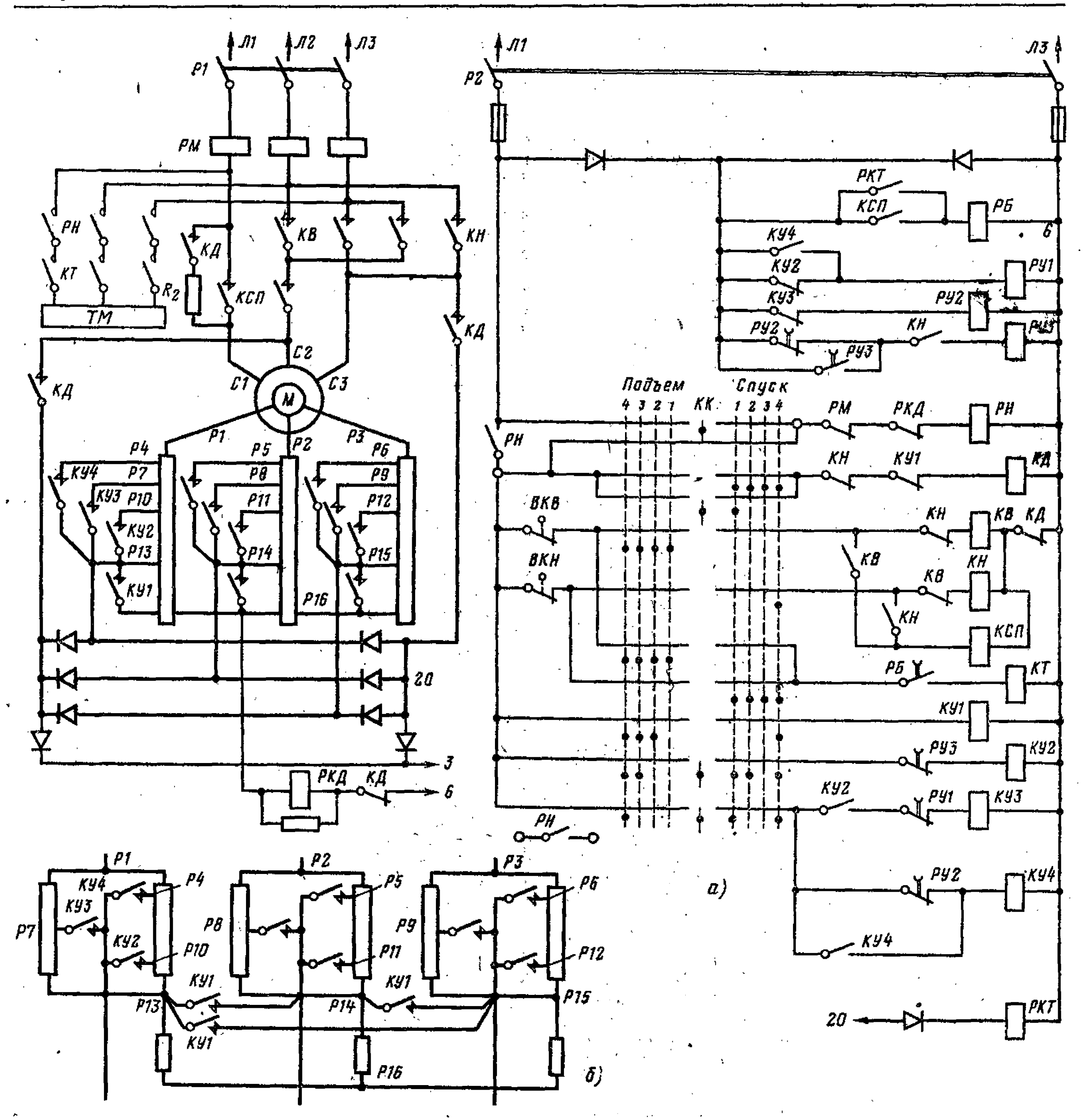


Рис. 9-16. Схема магнитного контроллера ТСД для самовозбуждаемых электродвигателей.

Кулачковые контроллеры ККТ 65А и ККТ 69А применяются вместе с защитной панелью ПЗКБ, обеспечивающей нулевую (контактор *КЛ*), максимальную (реле *РМ*) и конечную (выключатель *ВКВ*) защиты. Для осуществления режима динамического торможения с самовозбуждением предусмотрен магнитный контроллер ТРД 160, в который входят следующие аппараты: контакторы *КД*, *КСП*, *КУ* и реле *РУ*, *РКТ*. В этом же контроллере размещается реле контроля диодов *РКД*, которое срабатывает в случае пробоя любого диода выпрямительного блока ротора.

Схемы магнитных контроллеров серий ТСД и КСДБ. Схемы магнитных контроллеров серий ТСД и КСДБ выполнены, так же как и схемы силовых кулачковых контроллеров типов ККТ 65А и ККТ 69А, при использовании динамического торможения с самовозбуждением. На рис. 9-16, *а* и 9-17 показаны типовые схемы магнитных контроллеров ТСД 160. Контроллеры ТСД 250 отличаются только включением ступеней резисторов в роторной цепи (рис. 9-16, *б*).

Схемы магнитных контроллеров КСДБ по принципу построения аналогичны схемам контроллеров ТСД. Отличие заключается в схемах управления, которые в КСДБ выполняются на постоянном токе,

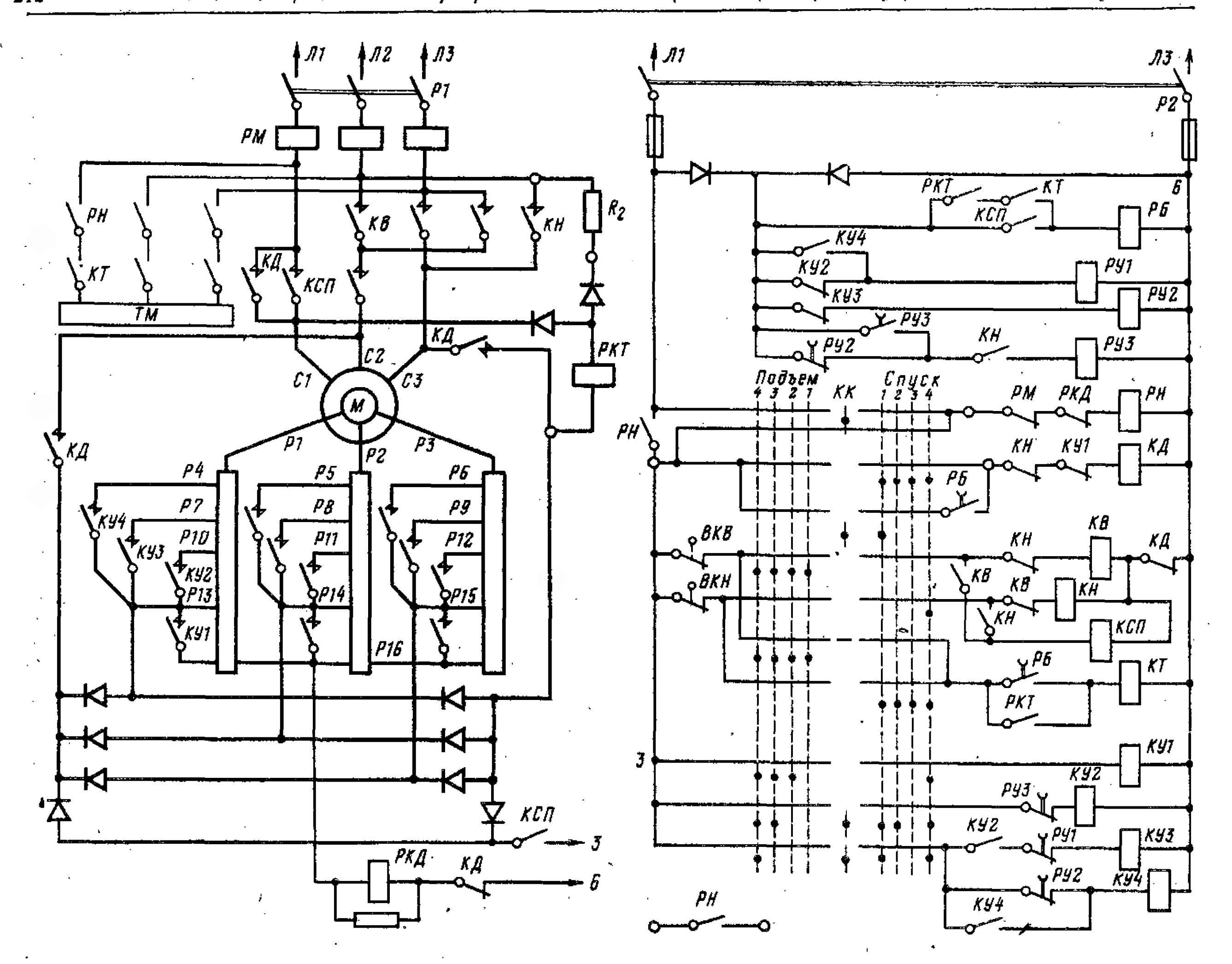


Рис. 9-17. Схема магнитного контроллера ТСД для не самовозбуждаемых электродвигателей.

а также в типах используемых контакторов. Определенные особенности имеет и схема магнитных контроллеров КСДБ, вызванные спецификой работы этих контроллеров в электроприводах грейферных механизмов, для которых они в основном и предназначены. Схемы контроллеров КСДБ построены на использовании контакторов с бездуговой коммутацией, существенно повышающих электрическую износостойкость контроллеров.

Схемы на рис. 9-16, *а* и 9-17 отличаются друг от друга узлом подпитки обмоток статора в режиме динамического торможения, что определяется неодинаковой способностью двигателей различных исполнений самовозбуждаться. Схема на рис. 9-17 предусматривает больший ток подпитки (для несамовозбуждаемых электродвигателей), чем схема рис. 9-16, *а* (для самовозбуждаемых электродвигателей).

Механические характеристики электроприводов с контроллерами ТСД приведены на рис. 9-18. За базисные величины здесь приняты номинальный момент и синхронная скорость двигателя.

Контроллеры ТСД и КСДБ обеспечивают ступенчатый пуск, ступенчатое регулирование скорости, реверс и торможение. Управление осуществляется от командоконтроллера, имеющего по четыре фиксированных положения в каждую сторону движения. Схемы выполняются несимметричными. Регулирование скорости при движении в сторону *Подъем* осуществляется путем изменения сопротивления ступеней резисторов в роторной цепи, при движении в сторону *Спуск* — путем переключения тех же ступеней резисторов, что и на подъеме, но только в режиме динамического торможения с самовозбуждением. Как при подъеме, так и при спуске предусматривается автоматический разгон под контролем реле ускорений *РУ1*, *РУ2* и *РУ3* (характеристики *4′П* и *2′С*). Контроль разгона при подъеме производится реле *РУ1* и *РУ2*, начиная с положения *3П*. Реле *РУ3* в этом режиме не функционирует (в цепь катушки реле включены замыкающие контакты контактора направления *КН*).

Режим динамического торможения реализуется на всех положениях спуска, кроме последнего, на котором двигатель работает от сети с невыключаемыми ступенями резисторов в цепи ротора. На первом положении спуска все ступени резисторов, кроме невыключаемого, выведены из цепи ротора (включены контакторы ускорения *КУ2*, *КУ3*, *КУ4*).

На положениях *2С* и *3С* для увеличения скорости в цепь ротора вводятся ступени резисторов — отключа-

ются контакторы *КУ3* и *КУ4* на положении два и *КУ2* — на положении три. При переходе с третьего на четвертое положение включаются контактор *КУ1* и под контролем реле ускорений *РУ1—РУ3* контакторы *КУ2—КУ4*. Такой порядок включения требуется для обеспечения разгона при малых грузах, не способных преодолевать силы трения в механизме. При постановке командоконтроллера сразу в крайнее положение спуска

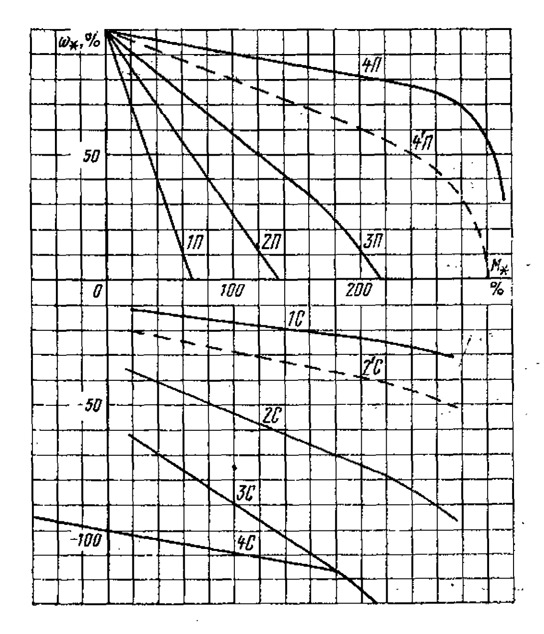


Рис. 9-18. Механические характеристики электроприводов с магнитными контроллерами ТСД. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р4* — 5; *Р4—Р7* — 10; *Р7—Р10* — 20; *Р10—Р13* — 27; *Р13—Р16* — 76. Данные указаны на одну фазу.

производится разгон аналогично разгону при переводе контроллера из третьего на четвертое положение.

Схемами магнитных контроллеров предусмотрено торможение с помощью электромагнитного тормоза *ТМ*, цепь катушки которого коммутируется контактором *КТ*.

При торможении с подъема торможение начинается сразу после постановки командоконтроллера в нулевое положение.

При торможении со спуска действие тормоза *ТМ* задерживается на выдержку времени реле *РБ*. В течение этого времени осуществляется электродинамическое торможение (включен контур подпитки).

Контур динамического торможения собирается при включении контактора *КД*, который электрически сблокирован с контактором *КСП* и с контакторами направления *КВ* и *КН*, а также механически сблокирован с контактором *КСП* (для исключения к. з. в силовой цепи в случае одновременного включения контакторов *КД* и *КСП*, *КН* или *КВ*). Для обеспечения начального подмагничивания электродвигателя в режиме динамического торможения предусматривается подпитка обмоток статора выпрямленным током от сети по однополупериодной схеме. В схеме на рис. 9-16, где требуется малый ток подпитки (около 3% номинального), собирается такой контур: фаза *Л1*, контакты контактора *КД*, резистор *R2*, катушка реле *РКТ*, фаза *Л3*. В целях надежности контур подпитки включается на нулевом положении контроллера. Реле *РКТ* осуществляет контроль наличия тока в контуре подпитки.

В схеме на рис. 9-17, где ток подпитки значительно больше (около 30% номинального), узел с реле *РКТ* введен в силовую цепь двигателя и из-за сравнительно больших потерь, выделяемых в резисторе *R2*, собирается только на рабочих положениях спуска (контактор динамического торможения *КД* отключается на нулевом положении). При этом отключение контактора *КД* происходит не сразу, а с выдержкой времени, определяемой реле *РБ*. Выдержка времени необходима для обеспечения динамического торможения.

Схемы магнитных контроллеров обеспечивают нулевую (реле *РН*), максимальную (реле *РМ*) и конечную (выключатели *ВКВ* и *ВКН*) защиты. Предусматривается также защита от пробоя любого из диодов выпрямительного моста в цепи ротора. Указанная защита выполняется с помощью реле *РКД*, срабатывающим при наличии пробоя диода моста только при отключенном контакторе *КД*.

в) Технические данные комплектных электроприводов

В настоящее время комплектные ряды типовых электроприводов рассматриваемого типа разработаны только при управлении от кулачковых контроллеров. Технические данные указанных электроприводов приведены в табл. 9-10 и 9-11. Так же как и для систем с противовключением, мощности статических нагрузок для систем с кулачковыми контроллерами рассчитаны только для режимов Л, С и Т, аналогично же рассчитываются в зависимости от режимов работы пускорегулировочные резисторы.

Технические данные комплектных электроприводов с магнитными контроллерами будут рассчитаны по мере их освоения промышленностью.

9-3. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

а) Особенности построения электроприводов. Область применения

Достоинства рассматриваемых систем (простота реализации, небольшие массогабаритные размеры аппаратуры управления, относительно высокие регулировочные и энергетические показатели, а также высокие надежностные показатели коммутационной аппаратуры постоянного тока) определяют их достаточно широкое применение, причем в первую очередь для механизмов режимов работы Т и ВТ в условиях металлургического производства. Однако эти электроприводы в отдельных случаях применяются и для общепромышленных крановых механизмов, в том числе работающих в режимах Л и С при электроснабжении на постоянном токе. В соответствии с этим имеются две модификации магнитных контроллеров: исполнение на досках для металлургического производства и реечное — для общепромышленных механизмов.

Комплектный ряд электроприводов включает в себя системы с магнитными и силовыми контроллерами отдельно для механизмов подъема и передвижения при управлении двигателями постоянного тока последовательного возбуждения серии Д всех исполнений мощностью от 2,4 до 106 кВт (по номиналу двигателей в режиме ПВ=40%).

Ряд электроприводов с силовыми контроллерами типа КВ 1 ограничен мощностью 9,5 кВт, определяемой особенностями коммутации цепей постоянного тока указанными аппаратами, и применяется только для механизмов легкого и среднего режимов работы. Электроприводы с магнитными контроллерами рассчитаны

для всех режимов работы. Для их построения используются шесть исполнений магнитных контроллеров для механизмов подъема типов ПС (для сдвоенных ДПС) с контакторами на 160, 250 и 630 А и семь исполнений контроллеров для механизмов передвижения П (ДП) с контакторами на 63, 160, 250 и 630 А. Все электроприводы с магнитными контроллерами имеют индивидуальную защиту, а для систем с силовыми контроллерами необходимо применение отдельной защитной панели.

В электроприводах подъемных механизмов тормозные режимы осуществляются в режиме динамического торможения и на характеристиках потенциометрического включения якоря и обмотки возбуждения электродвигателя. При этом на характеристиках каждого положения спуска имеются участки, на которых возможен силовой спуск крюка и легких грузов, и участки для тормозного спуска грузов. Управление электроприводом передвижения осуществляется по обычной реверсивной схеме с противовключением, в которой регулирование скорости производится изменением сопротивления в якорной цепи.

Особенностями рассматриваемых электроприводов являются возможность регулирования скорости в зоне выше номинальной и большая кратность максимального момента, ограничиваемого только условиями коммутации машины.

Диапазон регулирования скоростей в рассматриваемых электроприводах 6 : 1 при работе с номинальными грузами и 12 : 1 при работе с малыми грузами.

Комплектные ряды электроприводов постоянного тока строятся по тем же принципам, что и для систем с асинхронными двигателями. Однако в связи с ограниченным объемом справочника таблицы их технических данных не приводятся, а данные пускорегулирующих резисторов приведены в § 7-9.

б) Схемы электроприводов

Схемы кулачковых контроллеров КВ1 01 и КВ1 02. Принципиальные схемы контроллеров КВ1 01 и КВ1 02 приведены на рис. 9-19 и 9-20, а соответствующие механические характеристики показаны на рис. 9-21 и 9-22.

Контроллеры КВ1 01 и КВ1 02 предусматривают ступенчатый пуск, ступенчатое регулирование скорости, реверс и торможение. Контроллеры имеют по пять (КВ1 02) и по шесть (КВ1 01) фиксированных положений для каждого направления движения и одно фиксированное нулевое положение.

Контроллеры КВ1 01, предназначенные для механизмов передвижения кранов, применяются в основном для управления двигателями последовательного и реже смешанного и параллельного возбуждений.

Кулачковые контроллеры КВ1 02, предназначенные для механизмов подъема, применяются исключительно для управления двигателями последовательного возбуждения. Это объясняется тем, что двигатели последовательного возбуждения имеют большую перегрузочную способность, благоприятную естественную механическую характеристику на подъеме, при котором имеет место автоматическое повышение скорости при операциях с легкими грузами и ненагруженным крюком. Кроме того, схема управления с такими двигателями позволяет получить надежное электрическое торможение и требует минимального числа троллеев для подвода тока.

Однако естественная механическая характеристика двигателей последовательного возбуждения не пригодна для условий работы привода в сторону спуска груза (отсутствует автоматический переход из двигательного в генераторный режим). Для возможности работы привода в указанном режиме приходится создавать искусственные механические характеристики, получае-

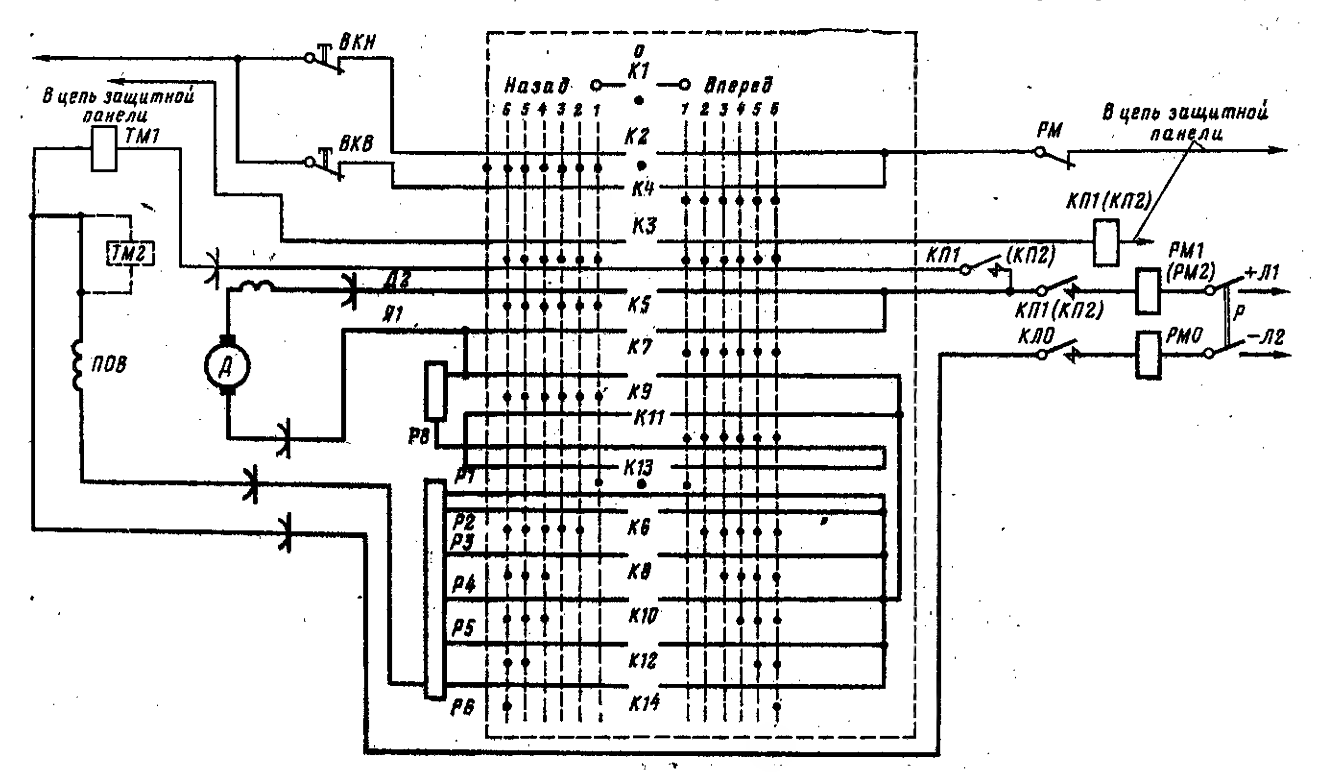


Рис. 9-19. Схема кулачкового контроллера КВ1 01.

Рис. 9-20. Схема кулачкового контроллера КВ1 02.

мые путем включения якоря и обмотки последовательного возбуждения по известной потенциометрической схеме. Эта схема позволяет также реализовать устойчивые малые посадочные скорости (см. характеристику *1С* на рис. 9-22). Потенциометрическая схема применяется на всех положениях спуска. По мере перевода контроллера с нулевого на последующие положения спуска осуществляется последовательное увеличение сопротивлений в цепи обмотки возбуждения (ослабляется поле двигателя) и уменьшение сопротивлений в цепи якоря (увеличивается напряжение на его зажимах), чем достигается увеличение скорости двигателя. На положениях подъема регулирование скорости производится путем простого изменения сопротивлений в цепи якоря двигателя.

Кулачковые контроллеры КВ1 01 в отличие от КВ1 02 имеют симметричную диаграмму замыкания кулачковых элементов для обоих направлений движения.

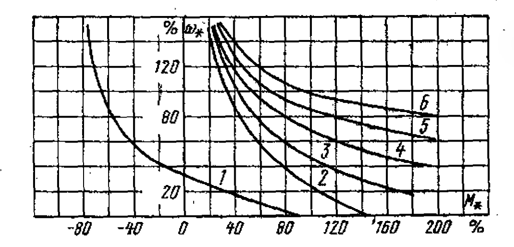


Рис. 9-21. Механические характеристики электропривода с контроллером КВ1 01. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р2* — 18; *Р2—Р3* — 22; *Р3—Р4* — 20; *Р4—Р5* — 16; *Р5—Р6* — 14; *Я1—Р8* — 40.

ния. На первом положении контроллера для получения малой скорости предусматривается схема с шунтированием якоря резисторами. При этом двигатель подключается к сети через пусковые ступени резисторов *Р1—Р6*, а параллельно якорю включаются резисторы *Я1—Р8*. На последующих положениях резисторы *Я1—Р8* отключаются (контактом *К13*) и регулирование скорости производится также, как и на положениях подъема в контроллерах КВ1 02.

На нулевом положении контроллеров КВ1 01 и КВ1 02 двигатель отключается от сети и затормаживается механическим тормозом с электромагнитами последовательного *ТМ2* или параллельного *ТМ1* возбуждений. Катушка электромагнита *ТМ2* включается последовательно с обмоткой возбуждения *ПОВ* двигателя. При этом в контроллерах КВ1 02 необходимо снять перемычку *С2—Р6*. Цепи катушек тормозов *ТМ1* коммутируются контактами контакторов *КП1* (*КП2*) в КВ1 01 и *КП3* в КВ1 02. Управление этими контакторами осуществляется с помощью контактов *К3* в контроллере КВ1 01 и *К2*, *К4* в контроллере КВ1 02.

В контроллерах КВ1 02 наряду с механическим предусматривается электрическое торможение с самовозбуждением. При этом якорь двигателя замкнут вместе с последовательной обмоткой возбуждения на сопротивления *Р7—Р8*, что увеличивает надежность работы привода, поскольку даже при неисправности механического тормоза будет происходить не падение груза, а спуск его с малой скоростью, соответствующей характеристике нулевого положения (рис. 9-22).

При выборе ступеней сопротивлений резисторов главной цепи следует иметь в виду, что их значение определяется не только необходимыми механическими характеристиками, но и током в цепи последовательно включенных обмотки возбуждения и тормоза. Это оказывает влияние на выбор сопротивлений, которые должны обеспечить ток в цепи тормоза, необходимый

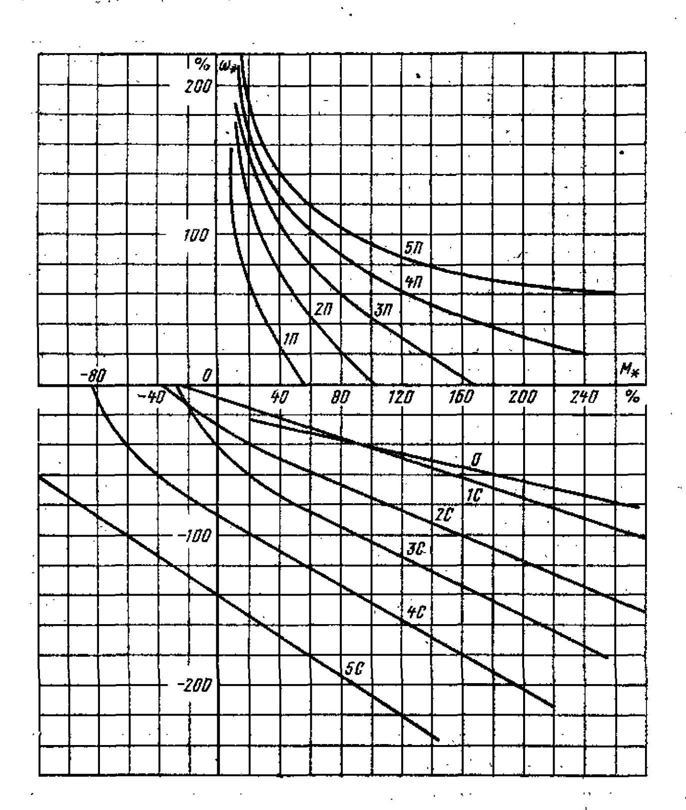


Рис. 9-22. Механические характеристики электропривода с контроллером КВ1 02. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р2* — 30; *Р2—Р3* — 60; *Р3—Р4* — 40; *Р4—Р5* — 27; *Р5—Р6* — 18; *Р7—Р8* — 30.

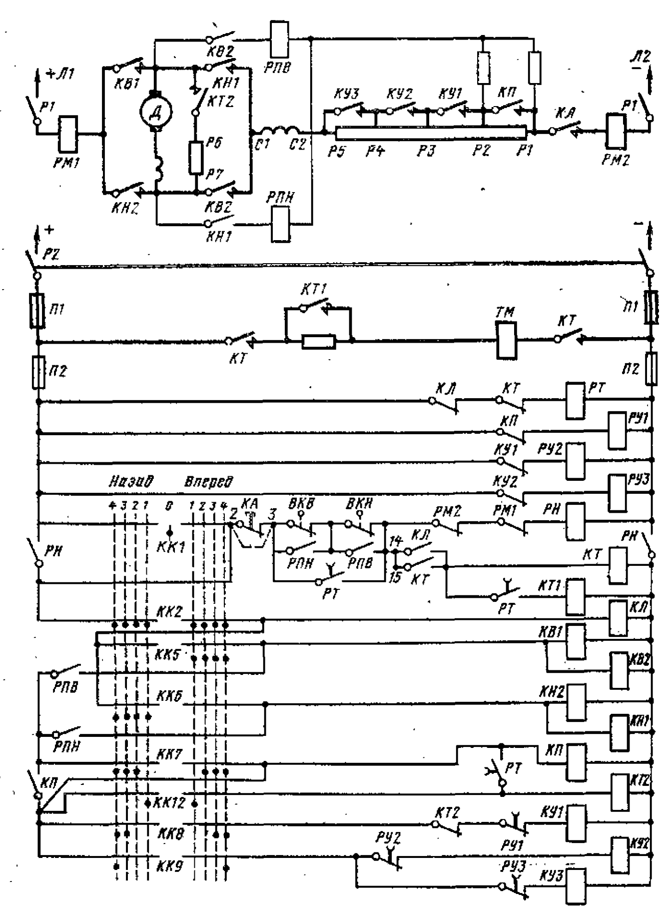


Рис. 9-23. Схема магнитного контроллера П 160.

для его надежного срабатывания и удержания включенным во всех положениях контроллера.

Контроллеры КВ1 01 и КВ1 02 применяются вместе с защитной панелью ППЗБ 150, в которой размещаются контакторы *КП1* (механизм передвижения тележки), *КП2* (механизм передвижения моста), *КП3* (механизм подъема) и общий для всех механизмов линейный контактор *КЛО*. В таком сочетании обеспечивается нулевая (контактором *КЛО*), максимальная (реле *РМ*) и конечная (выключателями *ВКВ* и *ВКН*) защиты.

Схемы магнитных контроллеров серий П, ДП, ПС и ДПС. Магнитные контроллеры постоянного тока выполняются по двум основным схемам: схеме на рис. 9-23 (контроллеры серии П для механизмов горизонтального передвижения) и схеме на рис. 9-24 (контроллеры серии ПС для механизмов подъема). Схемы дуплексных магнитных контроллеров ДП и ДПС по построению полностью аналогичны схемам соответствующих контроллеров П и ПС. Особенностью их является наличие переключателя в силовой цепи, позволяющего продолжать работу на одном двигателе в случае выхода из строя другого.

Схемы магнитных контроллеров постоянного тока обеспечивают пуск, реверсирование, торможение и ступенчатое регулирование скорости. Контроллеры П и ДП имеют симметричное построение схем для каждого направления вращения. Число фиксированных рабочих положений у контроллеров этой серии — по четыре на каждую сторону. Исключение составляют контроллеры типов ДП 250, ДП 630 и П 630, у которых соответственно по пять и по три фиксированных положения.

Механические характеристики контроллеров серии П и ДП показаны на рис. 9-25. Контроллеры этой серии позволяют получить плавное нарастание момента в процессе пуска, при переводе рукоятки командоконтроллера из одного положения в следующее или автоматически при переводе контроллера сразу на последнее положение. Контроль разгона производится реле *РУ1*, *РУ2* и *РУ3*, начиная со второго положения (характеристика *5'*).

Для получения плавного торможения при переводе рукоятки командоконтроллера из крайних положений в первое предусматривается шунтирование якоря (характеристика 1⁰ — включены контакторы *КТ2* и *КП*), дальнейшее торможение до полной остановки производится в режиме противовключения (путем перевода командоконтроллера на положения противоположного направления) под контролем реле *РПВ* и *РПН*, предотвращающими выведение ступеней резисторов в цепи якоря почти до полной остановки двигателя. Торможение в режиме противовключения осуществляется на характеристике *1П* (отключены контакторы *КУ1*—*КУ3* и *КП*).

Тормоз *ТМ* в рабочих режимах не участвует и накладывается только в аварийных режимах при срабатывании защиты или при отключении кнопки *КА*.

Шунтирование якоря на первом положении предусматривается во всех контроллерах *П* и *ДП*, кроме контроллеров типа П 630, схема которого выполняется также без свободного выбега на нулевом положении командоконтроллера. Все остальные типы контроллеров

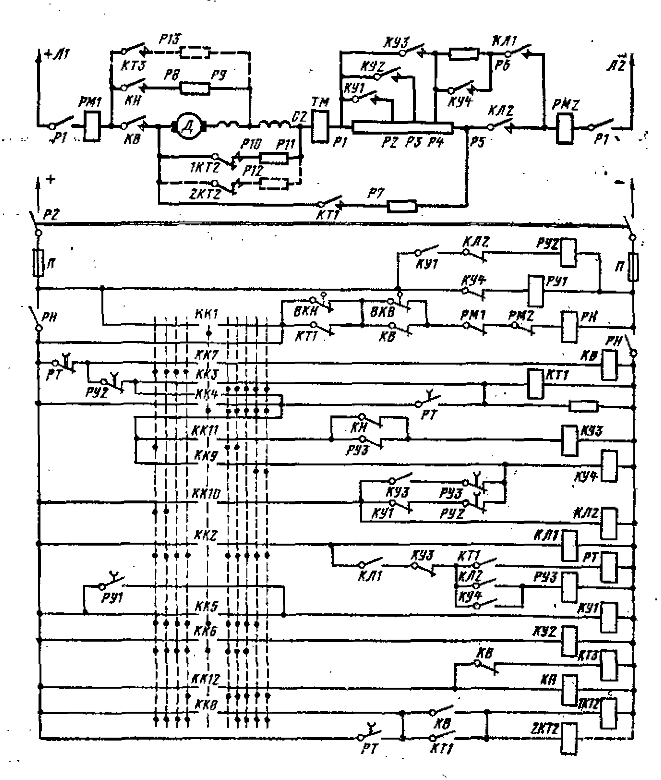


Рис. 9-24. Схема магнитного контроллера ПС 160.

серии П и ДП имеют исполнения как со свободным выбегом (без наложения тормоза), так и без него. При применении магнитного контроллера без свободного выбега необходимо снять перемычку *14-15* и поставить перемычку *2—3*.

Схемы контроллеров серии П предусматривают включение тормозных электромагнитов с катушками как последовательного, так и параллельного возбуждения. Исключением являются контроллеры типа П 630, которые рассчитаны на применение тормозных электромагнитов только с катушками последовательного возбуждения и контроллеры серии ДП, рассчитанные на применение тормозных электромагнитов с катушками параллельного возбуждения.

Из двух указанных исполнений тормозных электромагнитов более предпочтительно применение исполнений с катушкой параллельного возбуждения, поскольку схемы с катушками последовательного возбуждения могут быть использованы только в режиме без свободного выбега.

Схемы с тормозной катушкой параллельного возбуждения во избежание уменьшения тормозного усилия выполнены с форсировкой включения тормоза. Форсировка осуществляется контактором *КТ1* и реле *РТ*. Выдержка времени реле *РТ* выбирается из условия работы в режиме свободного выбега и должна быть не менее 1,5 с. Для контроллеров без свободного выбега выдержка времени должна быть минимальной, доста-

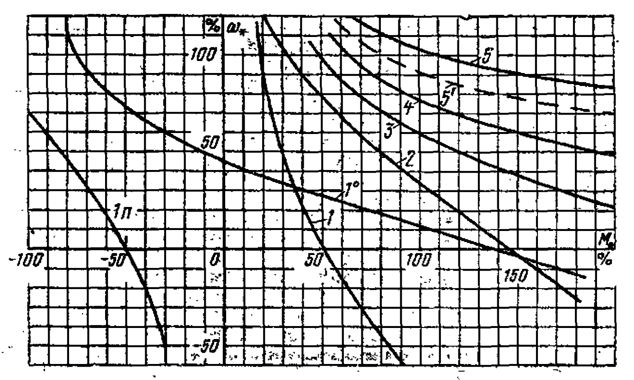


Рис. 9-25. Механические характеристики электроприводов с магнитными контроллерами Д и ДП. Характеристики реализуются при следующих ступенях резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р2* — 100; *Р2—Р3* — 26; *Р3—Р4* — 22; *Р4—Р5* — 15; *Р6—Р7* — 50 (контроллеры П 160, П 250, П 630. ДП 63, ДП 160); *Р1—Р2* — 100; *Р2—Р3* — 26; *Р3—Р4* — 17; *Р4—Р5* — 11; *Р5—Р6* — 9; *Р7—Р8* — 50 (контроллеры ДП 250 и ДП 630).

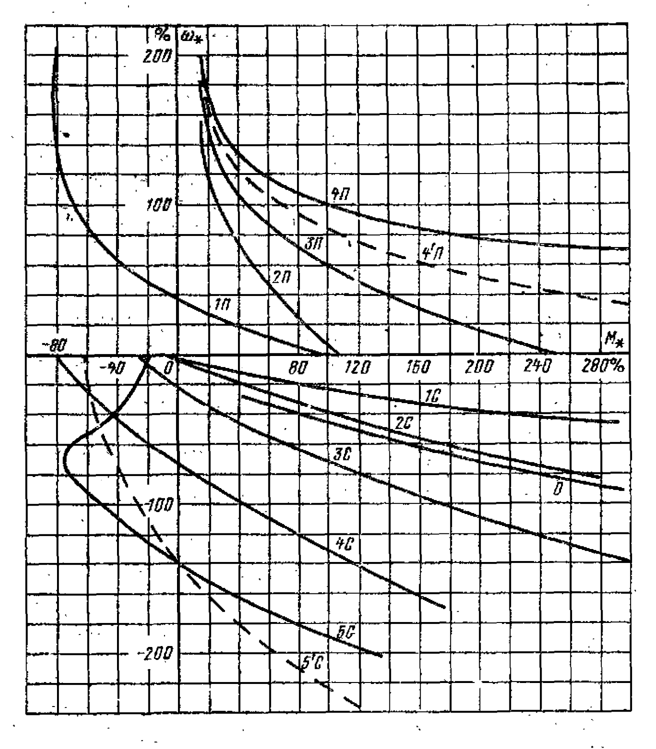


Рис. 9-26. Механические характеристики электроприводов с магнитными контроллерами ПС и ДПС. Характеристики реализуются при следующих значениях ступеней резисторов (в процентах номинального сопротивления двигателя): *Р1—Р2* — 100; *Р2—Р3* — 42; *Р3—Р4* — 25; *Р4—Р5* — 30; *Р4—Р6* — 60; *Р5—Р7* — 6; *Р8—Р9* — 22; *Р10—Р11* — 45 (*Р10—Р11* — 90; *Р12 — Р11* — 90 — для контроллеров ПС 630).

точной для срабатывания тормозных электромагнитов. В тех случаях, где требуется фиксированная остановка крана, предусматриваются два тормоза: один аварийный, обеспечивающий надежное торможение, второй подтормаживающий, не дающий резких замедлений, но фиксирующий кран в данном месте.

Магнитные контроллеры серии ПС выполняются по несимметричной схеме с числом фиксированных положений, равным четырем на подъем и пяти — на спуск. В контроллерах ДПС на подъеме предусматривается пять фиксированных положений для выхода на последнюю характеристику при работе одного из двух двигателей. Механические характеристики магнитных контроллеров серии ПС показаны на рис. 9-26.

Первое положение подъема, на котором предусматривается шунтирование якоря, служит для выбирания слабины троса и подъема с малой скоростью легких грузов. На последующих положениях подъема происходит разгон электродвигателя и регулирование скорости при различных нагрузках. Управление разгоном осуществляется реле времени *РУ1*, *РУ2* и *РУ3*.

В нулевом положении электродвигатель механически заторможен. Одновременно в главной цепи собрана схема динамического торможения через замыкающие контакты контактора *КТ2*, что определяет безотказное торможение и движение с малой скоростью, даже если вышел из строя механический тормоз.

На положениях спуска последовательная обмотка электродвигателя включается параллельно якорю через добавочный резистор, причем сопротивление в цепи последовательной обмотки постепенно увеличивается, а в цепи якоря уменьшается. Благодаря этому напряжение на зажимах якоря увеличивается, а м. д. с. обмотки возбуждения уменьшается, что приводит к увеличению скорости спуска грузов. При резком переводе рукоятки командоконтроллера на пятое положение спуска происходит последовательный переход с характеристики *4С* на характеристику *5С′*, затем на характеристику *5С*, что вызывается запаздыванием отключения контактора *КУ1* на выдержку времени *РУ1*, после чего размыкается контактор *КУ1* и реле *РУ2* включает контактор *КЛ2*.

На пятом положении спуска в цепи остаются включенными резисторы *Р8—Р9*, наличие которых позволяет получить дополнительное питание (подпитку) обмотки последовательного возбуждения, когда двигатель работает в генераторном режиме при наличии груза.

Для ограничения тормозных токов в схеме предусмотрен контроль торможения с помощью реле времени *РТ*, выдержка времени которого выбирается в пределах 0,8—1,0 с.

В контроллерах ПС и ДПС с напряжением главной цепи 440 В на первом положении подъема для ограничения тока якоря двигателя в процессе торможения (при переводе рукоятки командоконтроллера на первое положение подъема) включается ступень резисторов с большим сопротивлением, чем в исполнениях контроллеров на 220 В (в контроллерах на 220 В отсутствуют контактор *КТ3* и ступень резисторов *Р13—Р9*).

В контроллерах ПС 630 предусматривается параллельное включение резисторов в шунтирующей якорь цепи, что вызвано применением в этой цепи контакторов на номинальный ток 250 А.

Магнитные контроллеры постоянного тока обеспечивают максимальную (реле *РМ1*, *РМ2*), нулевую (реле *РН*) и конечную защиты. Максимальное реле настраивается на срабатывание при 225—250% номинального тока двигателя. Конечная защита выполняется выключателями *ВКВ* и *ВКН*.

В схемах контроллеров для механизмов передвижения осуществляется шунтирование конечных выключателей (для повышения надежности работы узла конечной защиты при свободном выбеге) с помощью замыкающих контактов реле противовключения *РПВ* и *РПН*, которые включаются при полностью собранной схеме. В этих схемах предусмотрено также шунтирование конечных выключателей контактами реле *РТ*, что вызвано необходимостью отключения реле *РН* в нулевом положении при отключенном конечном выключателе *ВКВ* или *ВКН*. Кроме того, такое включение дает возможность продолжать движение механизма крана после срабатывания конечной защиты с пониженной скоростью (соответствует первому положению) в течение времени, определяемого выдержкой времени реле *РТ*.

РАЗДЕЛ ДЕСЯТЫЙ

КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С БЕСКОНТАКТНЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

10-1. КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С ТИРИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

а) Общие вопросы построения ряда крановых электроприводов с тиристорными преобразователями постоянного тока

Тиристорные электроприводы постоянного тока по своим характеристикам в наибольшей степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к механизмам кранов. Однако применение их становится оправданным лишь только для мощных крановых механизмов (от 50 кВт и выше), а также в тех случаях, когда требуется реализовать требуемые динамические характеристики, большой диапазон регулирования скорости (свыше 10:1) и специальные механические характеристики привода. Наиболее целесообразно применение тиристорных электроприводов для механизмов крупных плавучих, портальных, строительных, монтажных кранов, перегружателей (угольно-рудных, морских, причальных и речных), кранов металлургического производства (литейных, закалочных, разливочных) и других грузоподъемных комплексов. Мощности электроприводов, которые требуются для этих крановых комплексов, могут достигать 400—600 кВт и более на один механизм.

Основные технические данные некоторых типовых комплектных крановых электроприводов с ТП приведены в табл. 10-1. Указанные электроприводы строятся на базе ТП серий АТК и АТРК, технические характеристики на которые даются в § 4-4, и двигателей постоянного тока серии Д. При этом возможны системы с нереверсивным исполнением ТП и контактным реверсором в главной цепи двигателей и системы с реверсивным ТП. Первые предназначаются, как правило, для механизмов кранов мощностью до 100 кВт. Это объясняется тем, что при больших мощностях возрастает время переключения контактного реверсора, что отрицательно сказывается на динамических характеристиках привода. Электроприводы с нереверсивным ТП рекомендуется приме-

Таблица 10-1

Комплекты электроприводов крановых механизмов с тиристорными преобразователями постоянного тока

Грузоподъемное устройство		Двигатель						Преобразователь		Магнитный контроллер				Командоконтроллер	Пуско-регулирующие резисторы	
Название крана	Механизмы крана	Тип	Мощность, кВт	Режим работы, ПВ %	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Количество, шт.	Тип	Количество	Тип	Габаритные размеры (ширина, глубина, высота), мм	Масса, кг	Количество, шт.	Тип	Тип	Количество, шт.
Башенный кран для высотного строительства	Подъем	ДП 72	67	25	540	220	1	АТК 250/230	1	П 93А	700×380××1451	150	1	КП 1200	НФ 1А	6
Модернизированный башенный кран для высотного строительства	Подъем	Д 816	95	25	540	440	1	АТРК 250/460	1	ПТС 300	500×315××1700	85	1	КП 1200	НФ 1А	1
Монтажный строительный кран для высотного строительства	Подъем	Д 812	50	25	565	220	1	АТК 250/230	1	П 93А	700×380××1451	150	1	КП 1200	НФ 1А	6
Рудно-угольный перегружатель	Замыкающая лебедка грейфера	Д 818	185	100	450	220	1	АТРК 500/460	2	ПС 630	1000×750××1520		1	КП 1200	НФ 11А НФ 1А	1 3
	Подъемная лебедка грейфера	Д 818	185	100	450	220	1	АТРК 500/460	2	ПС 630	1000×750××1520		1	КП 1200	НФ 11А НФ 1А	1 3
	Передвижение тележки	Д 818	185	100	450	220	2	АТРК 500/460	2	ДП 630	(2×1000)××750×1520		1	КП 1200	НФ 11А НФ 1А	3 6
Речной многоцелевой контейнерный перегружатель	Подъем	Д 810	55	100	550	220	2+2	АТРК 250/460	2	ДПС 250	—		2	КП 1200	НФ 1А	—
	Передвижение тележки	Д 31	12	100	1360	220	4	АТРК 250/460	1	ДП 250	—		1	КП 1200	НФ 1А	—

нять при числе включений не более 300 в час. Нереверсивные ТП находят применение в электроприводах механизмов подъема мощных строительных башенных кранов, где число включений не превышает 60 в час. Они могут быть использованы также и для монтажных кранов.

При мощности привода свыше 100 кВт следует применять реверсивные ТП. Поскольку максимальная мощность реверсивных ТП серии АТРК равна 250 кВт, а потребная мощность для целого ряда крановых механизмов превышает это значение, то возникает необходимость применения нескольких реверсивных ТП на один механизм. Используют комплект преобразователя, состоящий из двух параллельно включенных ТП типа АТРК 500 и выполненный с одной общей системой управления.

Тиристорные электроприводы в зависимости от назначения и исполнения крановых механизмов могут быть одно- и многодвигательными. Многодвигательные приводы находят применение для механизмов передвижения, а также механизмов подъема большой мощности. Источником питания ТП является сеть переменного тока напряжением 380 В. В некоторых случаях при большой мощности приводов, когда токоподвод с помощью кабельного барабана из-за большого сечения кабелей затруднен, представляется более целесообразным питание производить от сети с напряжением 6 или 10 кВ.

б) Схемы электроприводов

По построению схемы электроприводов с нереверсивным и реверсивным ТП близки друг к другу. Разница только в том, что в системе с реверсивным ТП несколько проще релейно-контакторная часть схемы, элементы которой обеспечивают взаимодействие ТП с управляющим органом (командоконтроллером). Кроме того, реверс переключением групп тиристоров делает привод гораздо более быстродействующим по сравнению с электроприводом с нереверсивным ТП и контактным реверсом в цепи якоря. Малое время переключения позволяет получить несколько лучшие характеристики при пуске, торможении и реверсе, что особенно важно для механизмов подъема, для которых время бестоковой паузы при переходе ТП из одного режима в другой должно быть по возможности минимальным.

В крановых электроприводах с ТП используются два способа регулирования скорости: 1) изменением напряжения, подводимого к якорю двигателя, 2) изменением тока в обмотке возбуждения. В большинстве

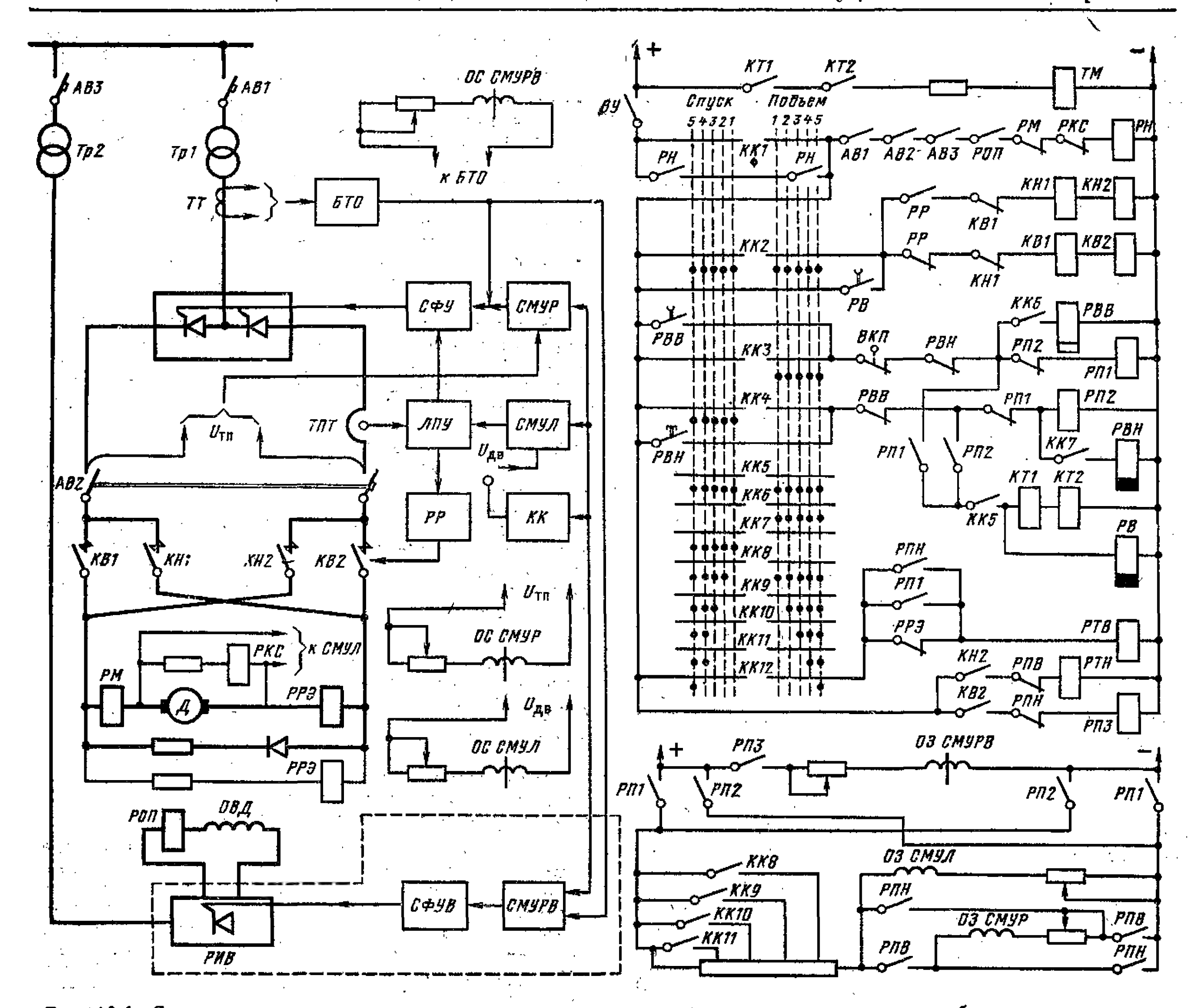


Рис. 10-1. Схема электропривода механизма подъема с нереверсивным тиристорным преобразователем.

ОВД — параллельная обмотка возбуждения двигателя; *Тр1*, *Тр2* — трансформаторы; *БТО* — блок токовой отсечки; *ТПТ* — трансформатор постоянного тока; *ТТ* — трансформатор тока; *СФУ*, *СФУВ* — системы фазового управления; *ЛПУ* — логическое переключающее устройство; *РР* — релейный элемент для переключения контакторов направления *КВ* и *КН*.

крановых электроприводов находят применение оба способа (двухзонное регулирование), в основном для электроприводов механизмов подъема. Для механизмов передвижения, а также отдельных механизмов подъема (например, в перегружателях) регулирование скорости осуществляется только за счет изменения напряжения двигателя. При этом в электроприводах с двухзонным регулированием, а также в электроприводах механизмов передвижения двигатели и ТП выбираются на одно и то же номинальное напряжение. Регулирование скорости выше номинальной (на механизмах подъема) осуществляется здесь изменением магнитного потока двигателя. В электроприводах механизмов подъема с регулированием скорости только напряжением двигатель выбирается на напряжение вдвое меньшее, чем номинальное напряжение ТП, с тем чтобы реализовать повышенные скорости (выше номинальной) в зоне малых нагрузок. Однако такое регулирование имеет определенный недостаток, поскольку оно сопряжено с уменьшением коэффициента мощности cos φ, что отрицательно сказывается на питающей сети.

Принципы построения схемы электропривода с двухзонным регулированием, выполненной применительно к механизмам подъема, показаны на рис. 10-1, а механические характеристики этого привода — на рис. 10-2.

Управление электроприводом осуществляется командоконтроллером *КК*, имеющим по пять фиксированных рабочих положений «подъем» и «спуск» и одно нулевое нерабочее положение.

На первом положении командоконтроллера включаются контакты реверсора (*КВ* или *КН*), растормаживается электромагнитный тормоз *ТМ* и на задающие обмотки суммирующих магнитных усилителей регулирования *СМУР* (*ОЗ СМУР*) и логики *СМУЛ* (*ОЗ*

СМУЛ) подается напряжение. На последующих положениях командоконтроллера увеличивается напряжение на задающей обмотке *СМУР*, вследствие чего возрастает напряжение ТП и скорость двигателя. На пятом положении подъема (*5П*) включается задающая обмотка суммирующего магнитного усилителя регулирования *СМУРВ* (*ОЗ СМУРВ*) возбудителя *РИВ*, и тем самым производится ослабление поля двигателя.

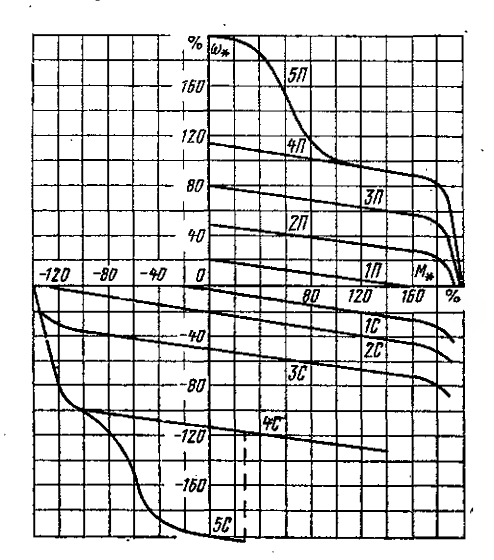


Рис. 10-2. Механические характеристики тиристорного электропривода механизма подъема.

При этом степень ослабления поля благодаря действию обмотки обратной связи (*ОС СМУРВ*) зависит от тока якорной цепи, вследствие чего механическая характеристика привода получается близкой по форме к характеристике с постоянной мощностью. Для быстрого спуска крюка или легких грузов на пятом положении *Спуск* (*5С*) также ослабляется поле двигателя. Однако ослабление поля разрешается только для спуска легких грузов. При большой же их массе двигатель автоматически переходит на характеристику, соответствующую положению *4С* при полном поле. Перевод на эту характеристику осуществляется под контролем дифференциального реле *РРЭ*, срабатывающим при определенном токе нагрузки и воздействующим на реле *РП3*, контакты которого включены в цепь обмотки *ОЗ СМУР*.

При постановке командоконтроллера из любого рабочего положения в нулевое осуществляется электрическое торможение в пределах времени, определяемого выдержкой времени реле *РВ* и *РВВ* или *РВН*, через замыкающие контакты которых производится подпитка соответственно катушек контакторов реверсора (*КВ* или *КН*) и реле направления *РП1* или *РП2*. Одновременно с электрическим торможением происходит торможение электромагнитным тормозом *ТМ* (отключаются контакты контакторов *КТ1* и *КТ2*).

В схеме электропривода предусмотрена цепь динамического торможения, включаемая при работе привода в сторону спуска. Наличие такой цепи в некоторой мере ухудшает энергетические показатели привода. Однако она позволяет несколько сократить число переключений контакторов реверсора при спуске легких грузов. Одновременно с этим цепь динамического торможения улучшает работу электропривода в режиме спуска груза при переключениях реверсора, уменьшая изменение скорости двигателя за время переключения. Кроме того, динамическое торможение повышает надежность работы привода и крана в целом, поскольку в случае каких-либо неисправностей в ТП или в цепи двигателя груз будет не падать, а опускаться со скоростью, соответствующей характеристике динамического торможения. Помимо указанного способа включения резисторы динамического торможения могут включаться только в нулевом положении и в случае срабатывания какой-либо защиты. Такой вариант, нашедший, в частности, применение в электроприводах с реверсивным ТП, требует меньшей мощности резисторов динамического торможения.

В схеме электропривода предусматриваются следующие виды защиты: нулевая (реле *РН*), максимальная (реле *РМ*), защита от обрыва поля (реле *РОП*), защита от токов короткого замыкания и перегрузки по току (автоматические выключатели *АВ1*, *АВ2*, *АВ3*), защита от чрезмерного повышения скорости (реле *РКС*), конечная защита (выключатель *ВКВ*).

Электроприводы с регулированием скорости только напряжением, подводимым к двигателю, несколько проще, чем по рассмотренной схеме, поскольку отсутствует необходимость в регулировании потока возбуждения машины. Электроприводы с ТП могут выполняться и многодвигательными. В этом случае принципы построения остаются такими же, как и при управлении одним двигателем.

10-2. КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ТИРИСТОРНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ

а) Общие вопросы построения ряда крановых электроприводов с тиристорными регуляторами напряжения

Все большее распространение для крановых механизмов находят системы электроприводов с тиристорными регуляторами напряжения (ТРН), обеспечивающими регулирование частоты вращения за счет изменения напряжения двигателя при постоянной частоте этого напряжения. Электроприводы с таким регулированием перспективны для тех механизмов кранов, где требуется регулирование скорости в диапазоне до 10 : 1 с обеспечением стабильных посадочных скоростей и где в то же время нет необходимости в повышенных скоростях перемещения легких грузов. Это в первую очередь механизмы мостовых, портальных, козловых кранов, кранов-штабелеров и т. д. Поскольку скольжение является функцией подводимого к статору напряжения и зависит от активного сопротивления роторной цепи, то регулирование частоты вращения в системах с ТРН может быть выполнено двумя способами: за счет регулирования подводимого напряжения со стороны статора при постоянных параметрах роторной цепи и за счет регулирования тока ротора при постоянном напряжении статора.

Наиболее предпочтительной системой для крановых электроприводов является система регулирования напряжения, подводимого к статору, при постоянных параметрах роторной цепи. Крановые электроприводы с такой системой регулирования выполняются на базе ТРН серии РСТ, данные по которым приведены в § 4-2.

Основные технические данные типовых комплектных электроприводов с регуляторами РСТ и асинхронными двигателями с фазным ротором серии MTF, MTH приведены в табл. 10-2. Ряд приводов охватывает мощности двигателей от 1,7 до 125 кВт. Все электроприводы выполнены с контакторным реверсором в цепи ста-

Таблица 10-2

Комплекты электроприводов крановых механизмов переменного тока с тиристорными регуляторами напряжения

Наименование кранов	Механизм крана	Двигатель			Магнитный контроллер							Резисторы	
		Тип	Мощность, кВт	Количество двигателей, шт.	Тип	Тип регулятора	Габаритные размеры, мм: Высота	Ширина	Глубина	Масса, кг	Количество, шт	Тип	Количество на один двигатель, шт.
Контейнерные Козловые	Подъем	МТН611-10 МТН612-10	45 60	1	ТТЗ 160У3	РСТ 310	1700	1000	475	200	1	НФ 1А	8 10
Мостовые Портальные Монтажные		МТН613-10 МТН711-10 МТН712-10	75 100 125		ТТЗ 250У3	РСТ 310	1700	1100 +400	475	300			12 16 18
Мостовые Козловые Контейнерные Краны-штабелеры	Передвижение крана	МТН211-6 МТН311-8 МТН311-6 МТН312-6 МТН312-8 МТН411-8	7 7,5 11 11 15 15	2, 4, 6	ТТЗ 160У3	РСТ 210	1700	1000 +400	475	200	1	НФ 1А	3
		МТН411-6 МТН412-8	22 22										4
Контейнерные Монтажные Мостовые	Передвижение тележки	МТН611-10 МТН612-10	45 60	1	ТТЗ 160У3	РСТ 210	1700	1000	475	200	1	НФ 1А	8 10
		МТН613-10 МТН711-10	75 100		ТТЗ 250У3	РСТ 310	1700	1100 +400	475	300			12 16
Портальные Монтажные	Поворот	МТН511-8 МТН512-8 МТН611-10 МТН612-10	28 37 45 60	1	ТТЗ 160У3	РСТ 210	1700	1000	475	200	1	НФ 1А	4 6 8 10
Портальные	Вылет стрелы	МТН411-6 МТН412-8 МТН412-6	22 22 30	1	ТТЗ 160У3	РСТ 210	1700	1000	475	200	1	НФ 1А	4

Примечания: 1. Мощности двигателей указаны в режиме ПВ=40%.
2. Для управления электроприводами применяются командоконтроллеры типа КП 1200.

тора. Коммутация контактов реверсора бестоковая, что является одним из достоинств рассматриваемых приводов. Исполнения электроприводов с контакторным реверсом являются более простыми по сравнению с электроприводами с бесконтактным реверсором.

Для получения устойчивых малых посадочных скоростей предусмотрена отрицательная обратная связь по скорости, осуществляемая с помощью тахогенератора типа ТМГ 30П. Помимо регулирования скорости рассматриваемые электроприводы обеспечивают также регулирование момента двигателя при пуске и торможении. Регулирование скорости и момента осуществляется во всех четырех квадрантах. Это делает привод универсальным, пригодным как для механизмов подъема, так и для механизмов передвижения. Для механизмов передвижения отдельных кранов указанная система электропривода может быть выполнена в упрощенном виде, особенно в тех случаях, когда требуемые скоростные характеристики привода необходимо реализовать, регулируя момент двигателя. В этом случае обратная связь по скорости не требуется. Представляется также целесообразным в некоторых случаях использовать регуляторы с встречно-параллельно включенными тиристорами только в двух или даже в одной фазах. Уменьшение количества тиристоров здесь приводит одновременно и к упрощению схемы управления. Однако электроприводы с такими регуляторами имеют худшие энергетические показатели, что и ограничивает их применение.

б) Схемы электроприводов с тиристорными регуляторами напряжения

Электроприводы с ТРН находят применение для механизмов подъема и передвижения кранов. На рис. 10-3 показана типовая схема электропривода с ТРН для механизмов подъема. Такой же вид будет иметь схема и для механизмов передвижения. Имеются только некоторые отличия в построении схемы управления. Типовые механические характеристики указанных приводов показаны на рис. 10-4. Пунктирные линии относятся к характеристикам механизмов передвижения. Для механизмов передвижения с числом дви-

Рис. 10-3. Типовая схема электропривода механизма подъема с тиристорным регулятором напряжения.

гателей, равным или кратным двум, принцип построения системы управления электроприводами остается таким же, как и при одном двигателе. Силовая схема таких электроприводов (рис. 10-5) выполняется, как правило, с одним ТРН и с одним тахогенератором. Роторные цепи двигателей независимые.

Управление электроприводом осуществляется командоконтроллером *КК*, имеющим по три и четыре фиксированных положения соответственно для спуска и подъема. Для механизмов передвижения используется симметричная схема с четырьмя фиксированными положениями для каждого направления движения. От командоконтроллера задающие сигналы управления подаются на блок задания скорости (*БЗС*). Разность сигналов задания и тахогенератора *ТГ*, проходя через усилители *У1* и *У2*, поступает на вход системы фазового управления *СФУ*, формирующей импульсы управления включением тиристоров ТРН, задавая угол управления, определяющий напряжение на обмотках статора. Это напряжение меняется в зависимости от положения командоконтроллера и момента нагрузки на валу двигателя.

Наличие обратной связи по скорости, предусматриваемой на всех положениях контроллера, кроме наибольшей скорости на подъеме и спуске, позволяет получить достаточно жесткие механические характеристики двигателя.

Реверс двигателя производится с помощью контакторов направления *КВ* и *КН*, сблокированных между собой механически и электрически. Контакторы *КВ* и *КН* включаются соответственно реле *РП1* и *РП3* в

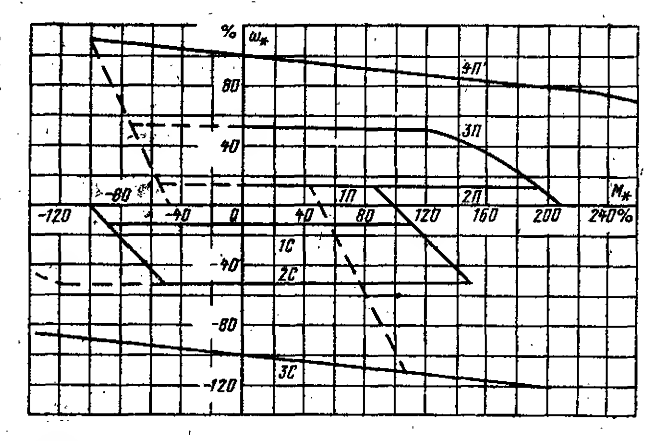


Рис. 10-4. Типовые механические характеристики электропривода с тиристорным регулятором напряжения.

зависимости от состояния логического устройства *БЛ*. При этом контактор *КВ* включен при работе в I и IV, а *КН* во II и III квадрантах механических характеристик. Переключение контакторов направления, происходящее при изменении режима работы (переход из двигательного в генераторный режим и наоборот), осуществляется при отсутствии тока в силовой цепи под контролем датчика тока *НТ*.

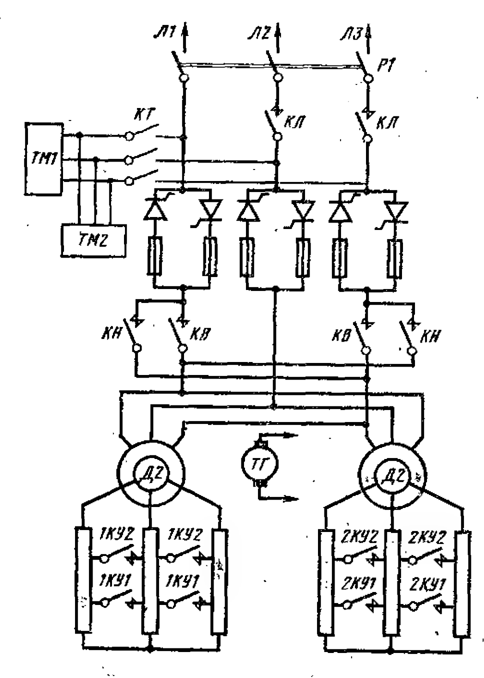


Рис. 10-5. Схема силовой цепи двухдвигательного электропривода механизма передвижения.

ТМ1, ТМ2 — тормозные электромагниты; *КВ*, *КН* — контакторы направления; *КЛ* — линейный контактор; *ТГ* — тахогенератор; *1КУ1*, *2КУ1*, *1КУ2*, *2КУ2* — контакторы ускорения.

Для снижения потерь в двигателе в схеме предусмотрены две ступени резисторов. Первая ступень включается на положениях *1П*, *1С*, *2С*, вторая на положениях *2П* и *3П*. На последних положениях контроллера (*4П*, *3С*) сигнал с тахогенератора не подводится в систему управления, и тиристоры полностью открыты. Ступени резисторов в роторной цепи шунтируются контакторами ускорения *КУ1* и *КУ2*, и двигатель развивает скорость, соответствующую характеристике с невыключаемыми резисторами, сопротивление которых может меняться в зависимости от типа двигателя.

Для получения плавного разгона (при переходе на положения *3П* и *4П*) и торможения при переходе с большой скорости на малую в схеме предусмотрено ограничение моментов в динамических режимах, выполняемое с помощью блока токовой отсечки *ТО*, сигнал с которого поступает на систему фазового управления *СФУ*.

Управление контактором тормозного электромагнита *КТ* производится реле *РП2* под контролем блока слежения за током (*МТ*). Контактор *КТ* включается при наличии тока во всех трех фазах двигателя и отключается (на рабочих положениях командоконтроллера) с выдержкой времени при исчезновении тока хотя бы в одной из фаз статора. Выдержка времени должна быть достаточной для переключения контакторов направления, вызванное изменением режима работы двигателя.

Контактор ускорения *КУ2* управления реле *РП4*, катушка которого включена на выход блока задания скорости *БЗС*. Контактор ускорения *КУ1* включается непосредственно контактами командоконтроллера.

Схемы электроприводов как механизмов подъема, так и передвижения предусматривают электрическое торможение при переводе командоконтроллера в нулевое положение, а также при переходе с большой скорости на малую. Во всех этих случаях производится, как правило, переключение контакторов направления (если двигатель работал в I или III квадрантах) и торможение по характеристике противовключения, соответствующей первому положению. На нулевом положении по истечении выдержки времени (реле *РП1*, *РП2* и *РП3* отключаются с запаздыванием) накладывается механический тормоз *ТМ*.

Для механизмов подъема схема электропривода может быть выполнена и без электрического торможения на подъеме. В этом случае при постановке контроллера в нулевое положение или в положение меньшей скорости остается включенным контактор направления *КВ*, а торможение осуществляется под действием веса самого груза и механического тормоза *ТМ* (в нулевом положении), накладываемого с выдержкой времени. Для получения такого режима предусматривается реле времени *РВ1*, через замыкающие контакты которого получает питание катушка контактора *КВ*. Достоинством схемы является уменьшение количества переключений контакторов направления, недостатком — увеличение времени торможения легких грузов.

Для надежной работы привода в схеме предусмотрено реле времени *РВ2*, включаемое на всех рабочих положениях контроллера. Это реле отключает на нулевом положении контактор *КЛ* в случае неисправности (залипания) контактов одного из промежуточных реле *РП1*, *РП2* или *РП3*.

Электропривод имеет защиты: нулевую, максимально-токовую, конечную (ограничение хода), защиту тиристоров от перенапряжений и токов к. з.

Максимально-токовая и нулевая защиты выполняются блоком *МТ* регулятора, воздействующим через реле *РП5* на цепь линейного контактора *КЛ*, который в свою очередь также выполняет роль нулевой защиты. Конечная защита осуществляется выключателями *ВКВ* и *ВКН*.

10-3. КРАНОВЫЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ

а) Общие вопросы построения ряда электроприводов с частотным регулированием

Крановые частотно-регулируемые электроприводы включают в себя системы с полюсно-переключаемыми асинхронными короткозамкнутыми двигателями и ПЧН и системы с односкоростными короткозамкнутыми двигателями с управлением в зависимости от зоны регулирования от ПЧИ или ПЧН.

Построение рассматриваемых электроприводов выполняется в соответствии с данными оптимизации их параметров по принципу минимума потерь энергии в переходных режимах. Применение ПЧН в системе с полюсно-переключаемыми двигателями позволяет значительно увеличить мощность двигателя в тех же габаритах при одновременном увеличении диапазона регулирования скоростей электропривода. В таких системах осуществляется комбинированное управление многоскоростных двигателей с зоной частотного регулирования, причем в нижней зоне скоростей осуществляется

частотное регулирование, а в верхней производится перевод питания двигателя на напряжение сети и переключение обмоток с разными числами пар полюсов. Соотношение между указанными двумя зонами регулирования должно определяться напряженностью режима работы.

Энергетически напряженные системы должны выполняться с максимально возможной зоной частотного регулирования, т. е. с регулированием от ПЧН, питающего быстроходную обмотку двигателя. При этом в зависимости от числа включений привода синхронная частота вращения быстроходной обмотки составляет 1000 или 1500 об/мин. Регулирование от ПЧН тихоходной обмотки применяется только для систем с диапазоном регулирования скоростей выше 10 : 1.

Электроприводы с комбинированным частотным регулированием выполняются по двум основным вариантам. В первом варианте ПЧН выполняет только функции регулирования скорости в нижней зоне. В этом случае мощность двигателя $P_{дв}$ значительно превосходит мощность ПЧН в соответствии с выражением

$$P_{дв} = P_{ПЧН} \frac{Д_{общ}}{Д_{ПЧН}}, \qquad (10\text{-}1)$$

где $Д_{об}$ и $Д_{пчн}$ — соответственно диапазоны регулирования скоростей общий и обеспечиваемый только ПЧН; причем

$$Д_{общ} = Д_{ПЧН} Д_p \frac{f_1}{f_{2макс}}, \qquad (10\text{-}2)$$

где $Д_р = p_б/p_т$ — диапазон регулирования, обеспечиваемый переключением числа пар полюсов $p_б$ и $p_т$ быстроходной и тихоходной обмоток; $f_1/f_{2макс}$ — отношение частоты питающего напряжения к максимальной выходной частоте ПЧН.

С учетом (10-1) и (10-2) выходная мощность ПЧН равна:

$$P_{ПЧН} = P_{дв} \frac{f_{2макс}}{f_1} \frac{1}{Д_p}, \qquad (10\text{-}3)$$

т. е. составляет 0,1—0,3 мощности двигателя при $Д_{общ} = (6 \div 15) : 1$.

Благодаря этому в рассматриваемом варианте построения электропривода целесообразно применение ПЧН, выполненного по наиболее простой нулевой схеме с согласующим трансформатором. По такой схеме выполнены ПЧН типа ТТС 16 и ТТС 40. Однако при этом значительно усложняется схема электропривода, в которой необходимые переключения выполняются контакторами (см. § 10-3, в). Поэтому для систем с повышенными требованиями к коммутационной аппаратуре применяются электроприводы с совмещением на ПЧН функций частотного регулирования и бестокового коммутатора. Мощность ПЧН при этом равна мощности двигателя. Для снижения массы и габаритов системы связь ПЧН с сетью осуществляется через токоограничивающие реакторы, а ПЧН выполняется по мостовой схеме (ТТС 80). Таким образом, упрощение силовой контакторной схемы электропривода достигается за счет усложнения схемы ПЧН.

Следует также отметить, что в ряде случаев целесообразно использовать электропривод по системе комбинированного частотно-параметрического регулирования асинхронных двигателей с фазным ротором. При этом ПЧН является источником питания низкой частоты и обеспечивает получение малых доводочных скоростей нескольких механизмов крана. Во всех схемах комбинированного управления к системе регулирования ПЧН предъявляется только требование стабилизации напряжения, заданного одновременно с частотой командоаппаратом электропривода.

Электроприводы только с частотным регулированием и односкоростными короткозамкнутыми двигателями в зависимости от требуемых скоростей, мощности и диапазона регулирования выполняются или с ПЧН, собранными по нулевой или мостовой схемам, или с ПЧИ. Электроприводы с ПЧН и четырехполюсной машиной обеспечивают зону частотного регулирования с максимальной скоростью в пределах от 600 до 900 об/мин в зависимости от схемы ПЧН. Поэтому такие электроприводы целесообразно применять для механизмов передвижения с большими маховыми массами, а также для подъемных механизмов тяжелого режима работы.

Применение электроприводов с ПЧИ позволяет обеспечить требуемые скорости, а также регулирование в зоне скоростей выше номинальной. В таких системах достигается максимальное использование габаритной мощности двигателя, однако сложность ПЧИ ограничивает их область применения. В системах только с частотным управлением на систему регулирования преобразователя возлагаются сложные функции регулирования напряжения и частоты по требуемому закону и с целью оптимизации режима работы электропривода.

б) Схемы электроприводов

В соответствии с рассмотренными принципами построения частотно-регулируемых электроприводов типовыми для крановых систем с ПЧН являются схемы комбинированного управления двухскоростным или трехскоростным двигателем, в которых ПЧН выполняет только функции регулирования; схема управления двухскоростным двигателем с совмещением на ПЧН функций регулирования и бесконтактного коммутатора и схема управления односкоростным двигателем от ПЧН или ПЧИ с полной зоной частотного регулирования.

Схема комбинированного электропривода с двухскоростным или трехскоростным двигателем. Схема электропривода с двухскоростным двигателем приведена на рис. 10-6, а механические характеристики — на рис. 10-7 (сплошные линии).

Для увеличения диапазона регулирования частоты вращения и получения максимальной зоны частотного регулирования в схеме выполняется поочередное подключение ПЧН к тихоходной обмотке (характеристики *1П*, *1С*) и быстроходной обмотке (характеристики *2П*, *2С* и *3П*, *3С*). Характеристики *4П*, *4С* и *5П*, *5С* обеспечиваются при подключении к сети тихоходной и быстроходной обмоток соответственно.

При управлении двигателем с соотношением чисел пар полюсов 4/6, для которого построены механические характеристики на рис. 10-7, диапазон регулирования составляет 15 : 1. Схема обеспечивает частотный пуск и торможение при работе двигателя от ПЧН, а также двухступенчатый разгон и торможение при переходе на естественную характеристику, Для реализации такого многопозиционного регулирования в схеме применено двухступенчатое управление от командоконтроллера через промежуточный релейный блок. При этом управление реверсированием двигателя при работе от сети осуществляется реле *РВ* и *РН*, включающим контакторы направления *КВ* и *КН*, а реле *Р2—Р5* управляют переключением скоростей.

Коммутация силовых цепей двигателя осуществляется контакторами скорости *КС1* и *КС2*, а частотное регулирование — с помощью реле *РС1—РС3*. Применение релейного блока позволяет исключать перерыв питания двигателя при переключении силовых цепей и осуществить контроль за разгоном и торможением по позициям. При этом в случае неисправности любого аппарата, управляющего скоростью, двигатель не переходит на следующую позицию.

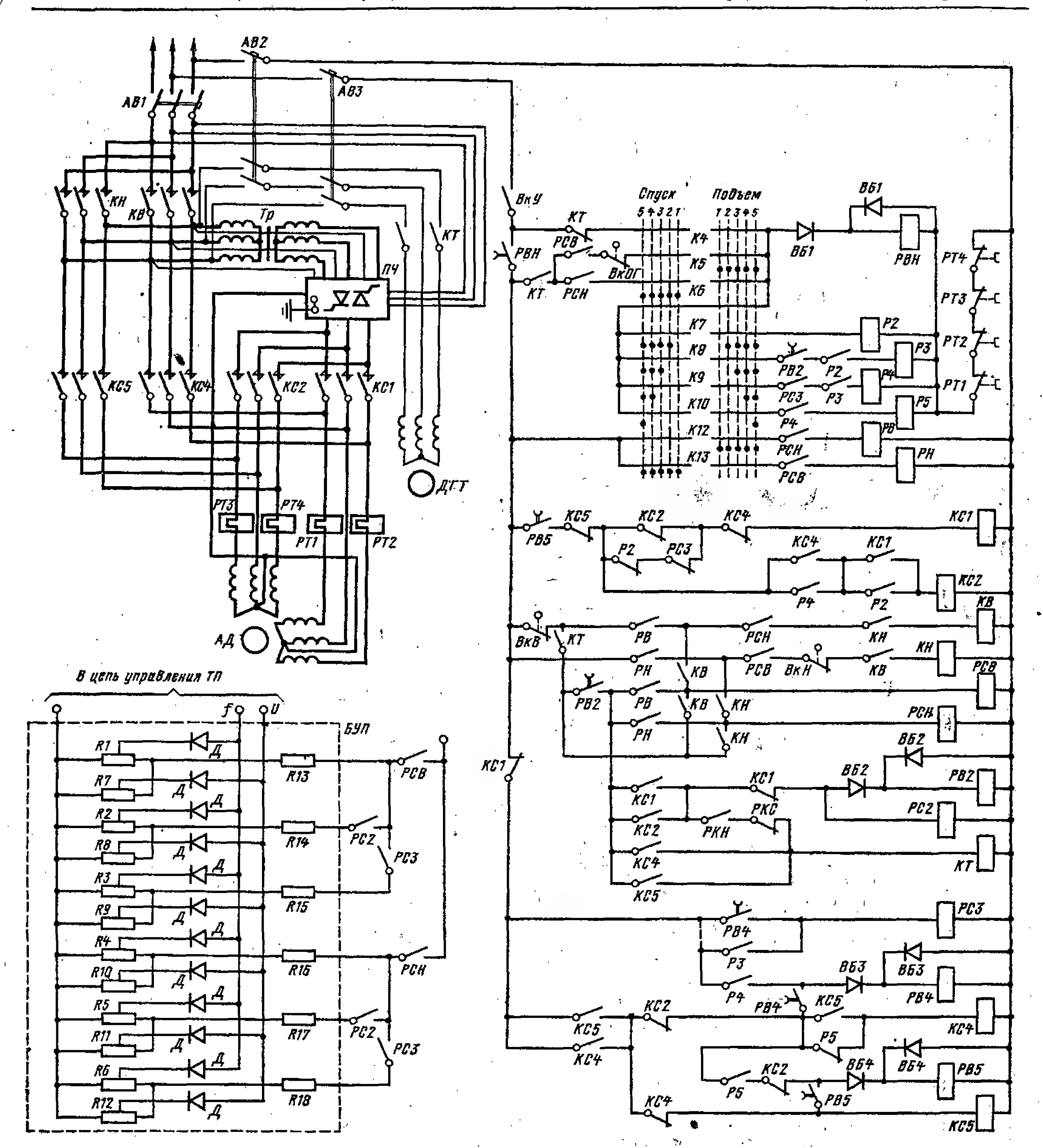


Рис. 10-6. Схема комбинированного электропривода механизма подъема с двухскоростным двигателем и поочередным управлением его обмоток от ПЧН.

ПЧ — преобразователь частоты; *ДГТ* — двигатель гидротолкателя; *КВ*, *КН* — контакторы направления; *КТ* — контактор тормоза; *КС1*, *КС2*, *КС4*, *КС5* — контакторы скоростей; *АВ1*—*АВ3* — автоматические выключатели; *РСВ*, *РСН*, *РВ*, *РН* — реле направления; *Р2*—*Р5* — реле командное; *РВ2*, *РВ4*, *РВ5* — реле времени с выдержкой 0,5 с; *РС2*, *РС3* — реле скорости; *РВН* — реле нулевое с выдержкой времени 1,5 с; *РКН* — реле контроля напряжения; *РТ1*—*РТ4* — реле тепловые; *Тр* — трансформатор; *ВкОГ* — выключатель ограничения грузоподъемности; *ВкВ*, *ВкН* — конечные выключатели; *ВкУ* — выключатель управления; *К4*—*К13* — контакторы командоконтроллера; *ВБ1*—*ВБ4* — диоды; *R1*—*R18* — регулировочные резисторы; *БУП* — блок управления преобразователем.

Реверс в зоне частотного регулирования осуществляется изменением порядка коммутации тиристоров ПЧН по сигналу от реле *РСВ* и *РСН*. Узел управления регулированием частоты и напряжения ПЧН является типовым для систем комбинированного управления с ПЧН и осуществляется реле *РСВ*, *РСН* и *РС2*, *РС3*. Указанные реле переключают цепи резисторов *R1—R18*, собранных по потенциометрическим схемам, причем цепи из диодов *Д* образуют логическую схему ИЛИ (включение последующей цепи исключает предыдущую).

Время разгона и торможения электропривода в зоне частотного регулирования задается задатчиком темпа ПЧН, а вне этой зоны соответствующими реле времени. Время наложения тормоза после частотного торможения контролируется реле *РВ2*. При этом тормоз накладывается при минимальной частоте ПЧН

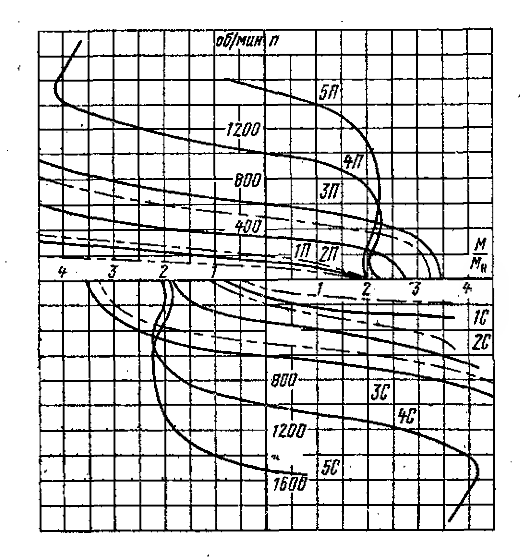


Рис. 10-7. Механические характеристики комбинированного электропривода с двух- и трехскоростным короткозамкнутым двигателем.

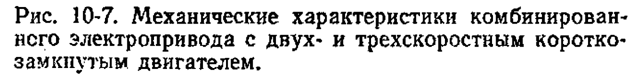

——— — двухскоростной двигатель при 2 p=4/6; — — — — — с трехскоростным двигателем при 2 p=4/6/12.

Таблица 10-3

Комплекты частотно-регулируемых электроприводов механизмов подъема

Тип двигателя	Мощность статической нагрузки двигателей, кВт, в режиме работы: Л	С	Т	ВТ	ОТ	Данные преобразователя: Тип	Связь с питающей сетью	Данные панелей управления: Габариты	Тип командоконтроллера	Параметры электропривода: Максимальная синхронная частота вращения, об/мин	Диапазон регулирования скорости	Зона частотного регулирования относительно номинальной скорости
МТКН622-4	90,0	81,0	71,5	65,0	43,6	ПЧИ 80	Токоограничивающий реактор	1175×770×355	КБС	1500[1]/2250	10:1[1]/15:1	0,1—1,5
МТКН621-4	70,0	62,5	55,5	50,5	33,8	ПЧИ 60		1175×770×355				
МТКН422-4	40,0	35,8	31,8	29,0	19,3	ПЧИ 30		1155×770×292				
МТКН622-4/6	80,0	68,5	57,0	40,0	25,0	ТТС 80	Токоограничивающий реактор	1175×770×355	КП 1200	1500	15:1	0,065—0,4
						ТТС 40	Трансформатор S=25 кВ·А	1615×770×365 1175×770×355				
МТКН621-4/6	60,0	51,5	43,0	30,2	19,5	ТТС 80	Токоограничивающий реактор	1175×770×355		1500	15:1	0,065—0,4
						ТТС 40	Трансформатор S=16 кВ·А	1175×770×355 1175×770×355				
МТКН622-6/8	60,0	54,5	47,9	43,5	29,0	ТТС 80	Токоограничивающий реактор	1175×770×355		1000	12:1	0,075—0,4
						ТТС 40	Трансформатор S=25 кВ·А	1615×770×365 1175×770×355				
МТКН622-4/6/12	55,0	45,0	39,2	27,3	17,6	ТТС 40	Трансформатор S=16 кВ·А	1615×770×365 1175×770×355		1500	30:1	0,033—0,135
МТКН521-4/6	45,0	37,0	32,2	22,4	14,5	ТТС 40	Трансформатор S=16 кВ·А	1615×770×365		1500	15:1	0,065—0,4
МТКН422-4/6	30,0	24,6	21,4	15,0	9,7	ТТС 40	Трансформатор S=10 кВ·А	1175×770×355		1500	15:1	0,065—0,4

[1] В числителе указаны скоростные параметры под нагрузкой, а в знаменателе — на холостом ходу.

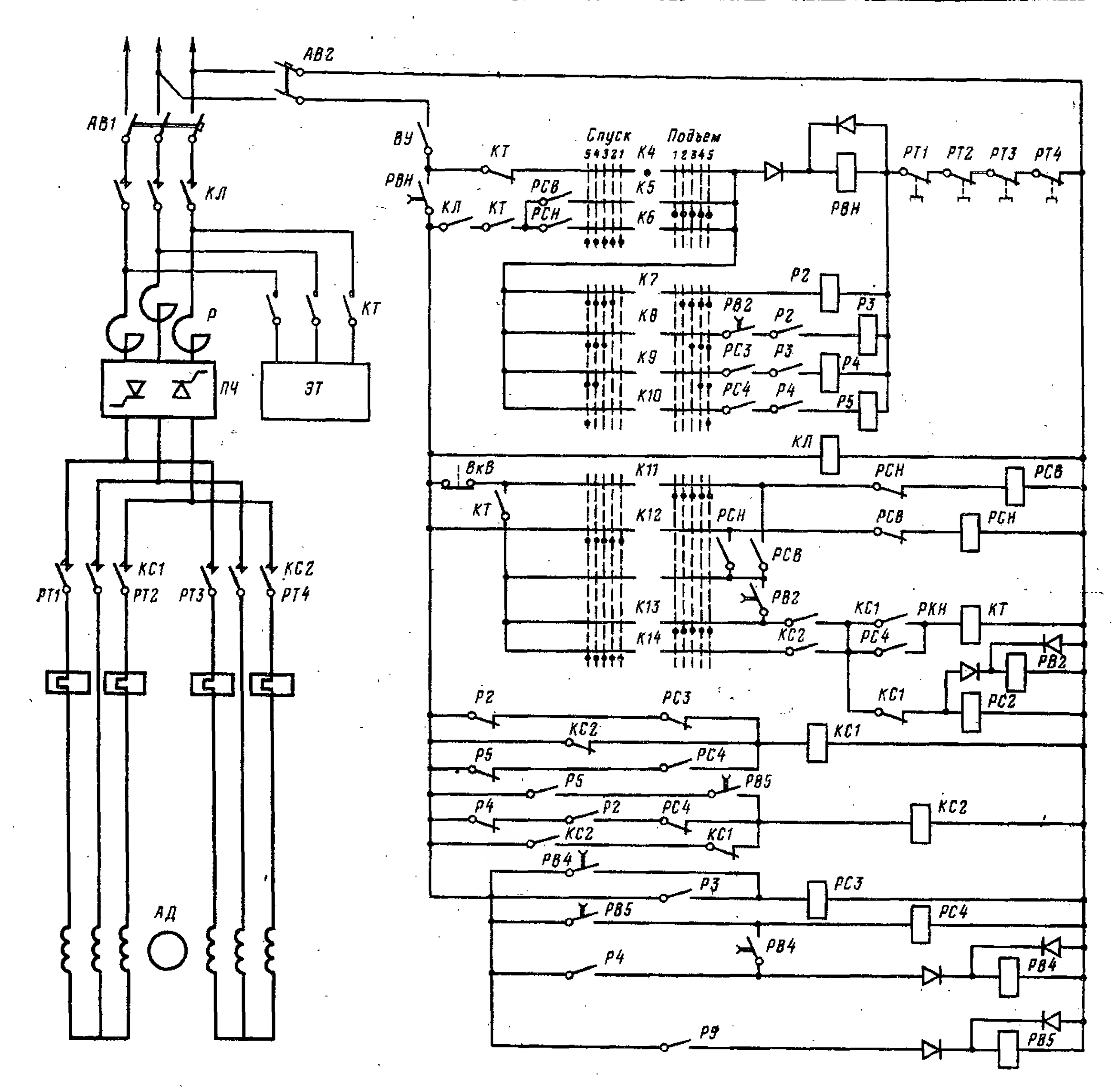


Рис. 10-8. Схемы электропривода механизма подъема с двухскоростным двигателем и совмещении на ПЧН функции бестокового коммутатора. Обозначения те же, что и на рис. 10-6.

раньше, чем снижается соответствующее этой частоте напряжение, что позволяет исключить просадку груза при работе привода на спуск груза.

Узел защиты схемы типовой с воздействием аппаратов защиты на нулевое реле *РВН*.

Схема управления трехскоростным двигателем выполняется аналогично рассмотренной. Однако поскольку в таких приводах основной задачей является расширение диапазона регулирования скоростей, зона частотного регулирования ограничена управлением только тихоходной обмотки машины. Соответствующие этому механические характеристики электропривода при управлении трехскоростным двигателем с соотношением пар полюсов обмоток 4/6/12 показаны на рис. 10-7 пунктирными линиями.

Схема электропривода при совмещении на ПНЧ функций бестокового коммутатора. Схема электропривода, представленная на рис. 10-8, обеспечивает характеристики, аналогичные рассмотренным выше (на рис. 10-7 — сплошные линии). Однако, благодаря совмещению на ПЧН функций бестокового коммутатора силовая часть схемы значительно проще вышерассмотренной. При этом в схеме отсутствуют контакторы направления, поскольку реверс осуществляется тиристорами ПЧН, а также контакторы, выполняющие подключение обмоток двигателя на напряжение сети. Как было сказано ПЧН

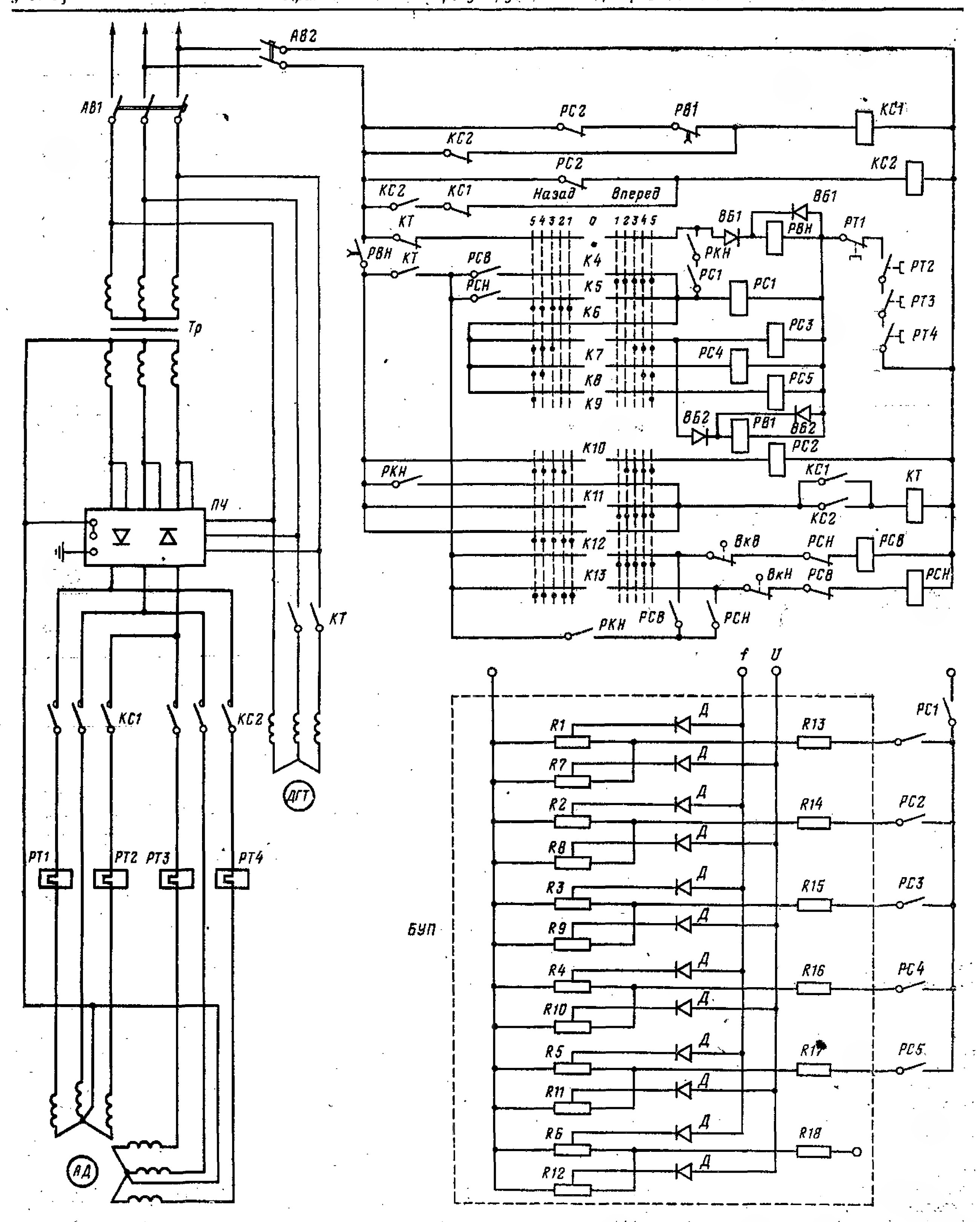


Рис. 10-9. Схемы управления двухскоростным двигателем с полной зоной частотного регулирования.

РВ1 — реле времени с выдержкой 2—2,5 с; *РВН* — реле нулевое с выдержкой 4—4,5 с; *ВБ1*, *ВБ2* — диоды; *К4—К13* — контакты командоконтроллера; *R1—R18* — регулировочные резисторы; остальные обозначения те же, что и на рис. 10-6.

Таблица 10-4

Комплекты частотно-регулируемых электроприводов механизмов передвижения

Тип двигателя	Мощность статической нагрузки двигателя, кВт, в режиме работы: Л	С	Т	ВТ	ОТ	Данные преобразователя: Тип	Связь с питающей сетью	Данные панелей управления: Габариты	Тип командоконтроллера	Параметры электропривода: Максимальная синхронная частота вращения двигателя, об/мин	Диапазон регулирования скорости	Зона частотного регулирования относительно номинальной скорости
МТКН622-4	50,0	47,5	37,0	30,4	19,5	ТТС 80	Токоограничивающий реактор	1175×770×355	КП 1200	900	6:1	0,165—1
МТКН621-4	40,0	38,0	29,6	24,3	15,7			1175×770×335				
МТКН521-4	25,0	22,8	18,5	15,2	9,8		Трансформатор $S=25$ кВ·А	1155×770×292		600	6:1	0,165—1
МТКН422-4	16,0	15,0	11,8	9,7	6,2	ТТС 40	Трансформатор $S=16$ кВ·А	1155×770×292				
МТКН521-6/8	30,0	27,3	23,8	21,7	14,5		Трансформатор $S=25$ кВ·А	1615×770×365		1000	12:1	0,075—0,4
МТКН422-6/8	23,0	20,9	18,3	16,7	11,2		Трансформатор $S=10$ кВ·А	1175×770×355				
МТКН422-4/12	10,0	5,0	—	—	—	ТТС 10	Трансформатор $S=5$ кВ·А	1175×770×355		1500	30:1	0,033—0,4
МТКН321-4/12	7,5	3,0	—	—	—		Трансформатор $S=2,5$ кВ·А	1155×770×292				
МТКН221-4/12	4,0	2,0	—	—	—		Трансформатор $S=1,5$ кВ·А	1155×770×292				

в таких схемах выполняется по мостовой схеме с токоограничивающими реакторами.

Построение схемы аналогично изложенному, а именно: управление двухступенчатое, через блок реле $P2$—$P5$, реверс по команде от реле *РСВ*, *РСН*, выбор скорости через реле *РС2*—*РС4*, время частотного пуска и торможения задается задатчиком темпа ПЧН, а вне зоны частотного регулирования — реле времени. Типовым является узел регулирования частоты и напряжения ПЧН (на схеме не показан), а также узел защиты.

Схема управления двухскоростным двигателем с частотным регулированием. Такие схемы в соответствии с изложенным применяются для механизмов, оптимальная частота вращения приводных двигателей которых составляет 600—900 об/мин. Обычно эти механизмы передвижения с большими приведенными маховыми массами.

Система дает высокую плавность регулирования, что является весьма важным для механизмов передвижения. Применение двухскоростного двигателя обеспечивает увеличение диапазона регулирования привода. При этом отсутствие переключения двигателя на сеть значительно упрощает систему. Схема приведена на рис. 10-9. В схеме отсутствует промежуточный релейный блок управления, а управление скоростью осуществляется непосредственно с помощью реле скорости *РС1*—*РС5*, обеспечивающими пять регулировочных характеристик. Эти же реле управляют контакторами переключения обмоток двигателя (контакторы *КС1* и *КС2*). Реверс осуществляется по сигналу от реле *РСВ* и *РСН*. В схеме на рис. 10-9 реализуются частотный пуск и торможение, контролируемые задатчиком темпа. Узлы управления ПЧН и защиты электропривода — типовые.

в) Основные технические данные комплектных крановых электроприводов с частотным регулированием

Технические данные крановых частотно-регулируемых электроприводов приведены в табл. 10-3 и 10-4 соответственно для механизмов подъема и передвижения. Электроприводы выполняются на мощности от 2 до 90 кВт и построены на основе использования ПЧН и ПЧИ, параметры которых приведены в табл. 4-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андреев В. П., Сабинин Ю. А.** Основы электропривода. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963.
2. **Архангельский В. И.** Бесконтактные схемы управления электроприводами реверсивных прокатных станов. М.: Госэнергоиздат, 1960.
3. **Александров М. П.** Подъемно-транспортные машины. М.: Высшая школа, 1963.
4. **Башарин А. В., Голубев Ф. Н., Кепперман В. Г.** Примеры расчетов автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1971.
5. **Борисов Ю. М., Соколов М. М.** Электрооборудование подъемно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1971.
6. **Бруфман С. С., Трофимов Н. А.** Тиристорные переключатели переменного тока. М.: Энергия, 1969.
7. **Буйлов А. Я.** Основы электроаппаратостроения. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1946.
8. **Булгаков А. А.** Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: Наука, 1966.
9. **Верник А. Б.** Мостовые краны большой грузоподъемности. М.: Машгиз, 1956.
10. **Вешеневский С. Н.** Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977.
11. **Виноградов Н. В., Горяинов Ф. А., Сергеев П. С.** Проектирование электрических машин. М.: Энергия, 1970.
12. **Герасимяк Р. П., Параил В. А.** Электроприводы крановых механизмов. М.: Энергия, 1970.
13. **Голован А. Т.** Основы электропривода. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1959.
14. **Гольденберг Л. М.** Основы импульсной техники. М.: Связьиздат, 1963.
15. **Дранников В. Г., Звягин И. Е.** Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин. М.: Высшая школа, 1973.
16. **Егоров К. А.** Автоматизация управления подъемными и перегрузочными машинами и установками. М.: Речной транспорт, 1960.
17. **Ерофеев Н. И.** Предохранительные и сигнализационные устройства кранов. М.: Машиностроение, 1970.
18. **Жиц М. З.** Переходные процессы в машинах постоянного тока. М.: Энергия, 1974.
19. **Зерцалов А. И., Певзнер Б. И.** Краны-штабелеры. М.: Машиностроение, 1968.
20. **Завод «Динамо»** в борьбе за технический прогресс. М.: Информстандартэлектро, 1967.
21. **Кифер Л. Г., Абрамович И. И.** Грузоподъемные машины. М.: Машгиз, 1957.
22. **Ключев В. И., Терехов В. М.** Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М.: Изд. МЭИ, 1971.
23. **Ключев В. И.** Ограничение динамических нагрузок электропривода. М.: Энергия, 1971.
24. **Куницкий Н. П.** Электрооборудование подъемно-транспортных сооружений. М.: Машгиз, 1942.
25. **Ланг А. Г., Мазовер И. С., Майзель В. С.** Портальные краны. М.—Л.: Машгиз, 1962.
26. **Костенко М. П., Пиотровский Л. М.** Электрические машины. Ч. I. Л.: Энергия, 1972.
27. **Костенко М. П.** Электрические машины. Специальная часть. М.: Госэнергоиздат, 1951.
28. **Лифшиц М.** Электрические машины. Т. III. ОНТИ, 1936.
29. **Крановo-металлургические** электродвигатели/Баталов Н. М., Белый В. А., Иоффе А. Б. и др. М.: Энергия, 1967.
30. **Мейстель А. М.** Динамическое торможение приводов с асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1967.
31. **Марков А. П.** Эксплуатация электроприводов палубных механизмов. М.: Транспорт, 1976.
32. **Мышкин В. Г.** Автомобильные краны. М.: Машиностроение, 1967.
33. **Нежданов В. Т., Нежданов И. В.** Аппараты низкого напряжения. М.: ЦНИИЭП, 1961.
34. **Основы** автоматизированного электропривода/Чиликин М. Г., Соколов М. М., Терехов В. М., Шинянский А. В. М.: Энергия, 1974.
35. **Петров Г. Н.** Электрические машины. Ч. I. М.: Энергия, 1974, Ч. II. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963. Ч. III, М.: Энергия, 1968.
36. **Петров И. И., Мейстель А. М.** Специальные режимы работы асинхронного электропривода. М.: Энергия, 1968.
37. **Певзнер Е. М., Шукалов В. Ф., Яуре А. Г.** Применение частотно-регулируемого электропривода в судовых грузоподъемных механизмах. — Электротехника, 1970, № 2.
38. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителя. Киев: Промінь, 1970.
39. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М.: Недра, 1970.
40. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации лифтов. М.: Госгортехиздат, 1961.
41. **Правила** устройства электроустановок. М.: Энергия, 1966.
42. **Преображенский В. И., Зимин Е. Н.** Силовые кремниевые вентили. М.: Энергия, 1971.
43. **Сандлер А. С., Гусяцкий Ю. М.** Тиристорные инверторы с широтно-импульсной модуляцией. М.: Энергия, 1968.
44. **Сандлер А. С., Сарбатов Р. С.** Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1966.
45. **Свечарник А. В.** Сельсины и их применение в системах автоматизации производственных процессов. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1962.
46. **Ситник Н. Х.** Силовая полупроводниковая техника. М.: Энергия, 1968.
47. **Смехов А. А.** Оптимальное управление перегрузочными процессами. М.: Машиностроение, 1966.
48. **Соколов М. М., Масандилов Л. Б.** Измерение динамических моментов в электроприводах переменного тока. М.: Энергия, 1975.
49. **Соколов М. М.** Автоматизированный электро-

привод общепромышленных механизмов. М.: Энергия, 1976.

50. **Соколов М. М.** Электрооборудование общепромышленных механизмов. М.: Энергия, 1969.

51. **Слежановский О. В.** Реверсивный электропривод постоянного тока. М.: Металлургия, 1967.

52. **Справочник** по кранам/Под ред. А. И. Дукельского. Т. 1, 2. Л.: Машиностроение, 1971.

53. **Справочник** судового электротехника. Под ред. Г. И. Китаенко. Т. 1—3. Л.: Судостроение, 1975.

54. **Справочник** по наладке электроустановок и электроавтоматики. Киев: Наукова думка, 1972.

55. **Судовые** электроприводы/Богословский А. П., Певзнер Е. М., Фрейдзон И. Р., Яуре А. Г. Справочник. Т. 1, 2. Л.: Судостроение, 1975.

56. **Таев И. С.** Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения. М.: Энергия, 1965.

57. **Тиристоры** (Технический справочник). Пер. с англ./Под ред. В. А. Лабунцова и др. М.: Энергия, 1971.

58. **Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Сахаров Ю. В.** Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. М.: Энергия, 1975.

59. **Чиликин М. Г.** Общий курс электропривода. М.: Энергия, 1971.

60. **Шипилло В. П.** Автоматизированный вентильный электропривод. М.: Энергия, 1969.

61. **Шубенко В. А., Браславский И. Д.** Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. М.: Энергия, 1972.

62. **Электрическое** оборудование кранов/Под ред. А. А. Рабиновича и М. М. Синайского. М.: Госэнергоиздат, 1963.

63. **Электротехнический** справочник. М.: Энергия. 1972.

64. **Яуре А. Г.** Крановая электрическая аппаратура. М.: Энергия, 1974.

65. **Яуре А. Г., Богословский А. П., Певзнер Е. М.** Электроприводы судовых грузоподъемных механизмов. Л.: Судостроение, 1971.

66. **Яуре А. Г.** и др. Выбор кранового электродвигателя с учетом режима работы и системы электропривода. — Электротехника, 1977. № 9, с. 3—7.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

СОДЕРЖАНИЕ

ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ АЛЕКСЕЕВ
АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ БОГОСЛОВСКИЙ
ЕФИМ МАРКОВИЧ ПЕВЗНЕР
АРОН АБРАМОВИЧ РАБИНОВИЧ
АНДРЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ ЯУРЕ

КРАНОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ. СПРАВОЧНИК

Редактор *Л. Б. Масандилов*
Редактор издательства *Л. А. Решмина*
Переплет художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *Н. П. Собакина*
Корректор *И. А. Володяева*
ИБ № 1707

Сдано в набор 28.12.78. Подписано в печать 23.07.79. Т-13154. Формат $84 \times 108^1/_{16}$. Бумага типографская № 3. Гарн. шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 25,2. Уч.-изд. л. 35,3. Тираж 40 000 экз. Заказ 839. Цена 2 р.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7